



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**«ΠΟΙΟΤΗΤΑ 4.0: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ 4.0 ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΗ ΑΡΙΣΤΕΙΑ»**

του

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ Χ. ΤΣΙΟΤΡΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΓΚΟΤΖΑΜΑΝΗ

Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2022

## Περίληψη

Η 4η βιομηχανική επανάσταση, γνωστή και ως Βιομηχανία 4.0, αντιπροσωπεύει μια σημαντική αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο οι επιχειρήσεις λειτουργούν και καινοτομούν. Ένας από τους βασικούς τομείς που έχει επηρεαστεί από αυτή τη μετατόπιση είναι η διαχείριση της ποιότητας, με την εμφάνιση μιας νέας έννοιας γνωστής ως Ποιότητα 4.0. Σε αυτό το έγγραφο, θα διερευνήσουμε τους τρόπους με τους οποίους η 4η βιομηχανική επανάσταση έχει επηρεάσει τη διαχείριση της ποιότητας και την επιχειρηματική αριστεία, συμπεριλαμβανομένης μιας συζήτησης για τις βασικές αρχές, τους άξονες, τα βασικά εμπόδια και τους παράγοντες επιτυχίας της Ποιότητα 4.0 και θα αναφερθούμε στο έξυπνο εργοστάσιο και στις βασικές τεχνολογίες και τα πλεονεκτήματα της Βιομηχανίας 4.0. Θα συζητήσουμε επίσης τον αντίκτυπο της Βιομηχανίας 4.0 στις μεθόδους και τις πρακτικές της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας και της Επιχειρηματικής Αριστείας και τα οφέλη που μπορούν να επιτύχουν οι επιχειρήσεις μέσω της υιοθέτησης αυτών των νέων τεχνολογιών και προσεγγίσεων.

Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, ή Βιομηχανία 4.0, χαρακτηρίζεται από την ενσωμάτωση της αυτοματοποίησης, της ανταλλαγής δεδομένων και του διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) στη μεταποίηση και σε άλλες βιομηχανίες. Η τάση αυτή έχει σημαντικές επιπτώσεις στη διαχείριση της ποιότητας και την επιχειρηματική αριστεία, καθώς επιτρέπει στους οργανισμούς να συγκεντρώνουν και να αναλύουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, να χρησιμοποιούν τεχνητή νοημοσύνη (AI) για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων και την πρόβλεψη των αποτελεσμάτων, καθώς και να αυτοματοποιούν και να βελτιστοποιούν τις διαδικασίες. Ωστόσο, η επιτυχία των εγχειρημάτων της Βιομηχανίας 4.0 εξαρτάται από τον προσεκτικό σχεδιασμό και την εκτέλεση, καθώς και από την ανάπτυξη των απαραίτητων δεξιοτήτων και ικανοτήτων εντός των οργανισμών. Το παρόν έγγραφο εξετάζει την επίδραση της Βιομηχανίας 4.0 στη διαχείριση της ποιότητας και την επιχειρηματική αριστεία, καθώς και τους τρόπους με τους οποίους οι οργανισμοί μπορούν να αξιοποιήσουν αυτές τις τεχνολογίες για να βελτιώσουν τις επιδόσεις και την ανταγωνιστικότητά τους.

Λέξεις κλειδιά: Ποιότητα 4.0, Διαχείριση Ποιότητας, Επιχειρηματική Αριστεία, Βιομηχανία 4.0, Διοίκηση Ολικής Ποιότητας 4.0.

## Abstract

The 4th industrial revolution, also known as Industry 4.0, represents a major change in the way businesses operate and innovate. One of the key areas that has been affected by this shift is quality management, with the emergence of a new concept known as Quality 4.0. In this paper, we will explore the ways in which the 4th Industrial Revolution has impacted quality management and business excellence, including a discussion of the key principles, axes, key barriers and success factors of Quality 4.0, and we will discuss about the smart factory and the key technologies and benefits of Industry 4.0. We will also talk through the impact of Industry 4.0 on Total Quality Management and Business Excellence methods and practices and the benefits that companies can achieve through the adoption of these new technologies and approaches.

The fourth industrial revolution, or Industry 4.0, is characterised by the integration of automation, data sharing and the Internet of Things (IoT) in manufacturing and other industries. This trend has significant implications for quality management and business excellence, as it enables organizations to gather and analyze large amounts of data in real time, use artificial intelligence (AI) to support decision-making and predict outcomes, and automate and optimize processes. However, the success of Industry 4.0 ventures depends on careful planning and execution, as well as the development of the necessary skills and competencies within organisations. This paper examines the effect of Industry 4.0 on quality management and business excellence, and the ways in which organisations can leverage these technologies to improve their performance and competitiveness.

Keywords: Quality 4.0, Quality Management, Business Excellence, Industry 4.0, Total Quality Management 4.0.

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	2
Abstract.....	3
Περιεχόμενα.....	4
1. Εισαγωγή.....	5
1.1 Σκοπός της εργασίας.....	5
1.2 Δομή της εργασίας.....	5
2. Μεθοδολογία Έρευνας.....	6
2.1 Στόχος της εργασίας.....	6
2.2 Μεθοδολογία και οργάνωση έρευνας .....	6
3. Ποιότητα 4.0 (Quality 4.0).....	7
3.1 Εισαγωγή.....	7
3.2 Εννοιολογική προσέγγιση και η εξέλιξη της ποιότητας με την πάροδο των χρόνων .....	7
3.3 Οι βασικές αρχές και οι άξονες της Ποιότητας 4.0.....	10
3.4 Τα βασικά εμπόδια και οι παράγοντες επιτυχίας της Ποιότητας 4.0.....	14
4. Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0).....	18
4.1 Εισαγωγή.....	18
4.2 Οι βασικές τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0.....	19
4.3 Το έξυπνο εργοστάσιο .....	23
4.4 Τα πλεονεκτήματα της Βιομηχανίας 4.0.....	25
5. Η επίδραση της Βιομηχανίας 4.0 στη Διαχείριση Ποιότητας και την Επιχειρηματική Αριστεία.....	28
5.1 Η επίδραση της Βιομηχανίας 4.0 στις βασικές αρχές της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας.....	28
5.2 Οι βασικοί πυλώνες της Ποιότητας 4.0 .....	30
5.3 Το Οικοςύστημα της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας 4.0.....	32
5.4 Λιτά εργαλεία και φιλοσοφίες στη Βιομηχανία 4.0.....	34
5.5 Ο κύκλος Plan-Do-Check-Act στη Βιομηχανία 4.0.....	40
Συμπεράσματα .....	44
Περιορισμοί και Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	45
Βιβλιογραφία .....	46

# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Σκοπός της εργασίας

Η παρούσα εργασία έχει ως βασικό σκοπό να πραγματοποιήσει μια συστηματική ανασκόπηση της τρέχουσας κατάστασης της βιβλιογραφίας στον τομέα του αντίκτυπου της Βιομηχανίας 4.0 στις πτυχές της διαχείρισης της ποιότητας και της επιχειρηματικής αριστείας.

## 1.2 Δομή της εργασίας

Στο πρώτο μέρος της παρούσας εργασίας περιγράφεται η Μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την υλοποίηση της εργασίας και γίνεται αναφορά στους στόχους.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, εξετάζεται η έννοια της Ποιότητας 4.0, οι βασικές πτυχές της και τα βασικά εμπόδια και οι παράγοντες επιτυχίας της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η Βιομηχανία 4.0, οι βασικές της τεχνολογίες, τα εμπόδια και τα πλεονεκτήματα της.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναλύεται ο αντίκτυπος της Βιομηχανίας 4.0 στην επιχειρηματική αριστεία και στις βασικές πτυχές της διαχείρισης ποιότητας.

Στο τελευταίο μέρος, αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη και δίνονται προτάσεις για περαιτέρω μελέτη.

## 2. Μεθοδολογία Έρευνας

### 2.1 Στόχος της εργασίας

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να διερευνήσει και να παρουσιάσει τις αλλαγές που πιθανώς έχουν επέλθει στις πρακτικές και τις βασικές πτυχές της Διαχείρισης Ποιότητας και της Επιχειρηματικής Αριστείας ως αποτέλεσμα της έλευσης της Βιομηχανίας 4.0.

### 2.2 Μεθοδολογία και οργάνωση έρευνας

Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση για τη διερεύνηση της έννοιας, των βασικών πτυχών, των προκλήσεων, των παραγόντων επιτυχίας και των οφελών της Ποιότητας 4.0 και της Βιομηχανίας 4.0, καθώς και του αντίκτυπου της Βιομηχανίας 4.0 στην Διαχείριση Ποιότητας και την Επιχειρηματική Αριστεία. Η μεθοδολογία της παρούσας εργασίας βασίζεται στην ανασκόπηση διαφόρων πηγών γνώσης, για την εύρεση όλης της σχετικής βιβλιογραφίας. Αναζητήθηκαν οι ιστοσελίδες ResearchGate, Scopus, Google Scholar και άλλες επιστημονικές πηγές με τη χρήση των λέξεων-κλειδιών: "Quality 4.0, Quality Management, Business Excellence, Industry 4.0, Total Quality Management 4.0" για δημοσιευμένες εργασίες και άρθρα από το 2015 έως τον Δεκέμβριο του 2022. Έγινε εκτεταμένη αναζήτηση με τη χρήση της μηχανής τακτικής διαδικτυακής αναζήτησης της Google για την αναζήτηση σε όλο τον παγκόσμιο ιστό για άλλα φημισμένα άρθρα σχετικά με την λέξεις-κλειδιά. Αντίστοιχα, τα εν λόγω άρθρα συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν ποσοτικά και ποιοτικά για την επισκόπηση των διαφορετικών επιστημονικών προσεγγίσεων στο θέμα της παρούσας έρευνας. Συγκεντρώθηκαν συνολικά 43 άρθρα από διαφορετικές επιστημονικές πηγές, έπειτα από τον αποκλεισμό των υπολοίπων που περιείχαν κάποια από τις λέξεις-κλειδιά, αλλά δεν προχώρησαν σε περαιτέρω διερεύνηση στο σώμα της έρευνας. Τα δεδομένα των άρθρων αυτών διαχωρίστηκαν σε 3 βασικές θεματικές ενότητες, σε αυτά που αφορούν την Ποιότητα 4.0, σε αυτά που αφορούν την Βιομηχανία 4.0 και σε εκείνα που έχουν να κάνουν με τον αντίκτυπο της Βιομηχανίας 4.0 στην Διαχείριση Ποιότητας και την Επιχειρηματική Αριστεία. Συνεπώς, η δομή της παρούσας εργασίας θα κατηγοριοποιηθεί σε 3 κεφάλαια, βασιζόμενη σε αυτά τα 3 θέματα.

## 3. Ποιότητα 4.0 (Quality 4.0)

### 3.1 Εισαγωγή

Η ποιότητα αποτελούσε ανέκαθεν μια ζωτική πτυχή των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων και αποτελούσε θέμα ενδιαφέροντος για τους οργανισμούς όλα αυτά τα χρόνια. Η εξέλιξη της διαχείρισης της ποιότητας έχει σηματοδοτηθεί από διάφορα ορόσημα, από τις πρώτες ημέρες του ποιοτικού ελέγχου με βάση την επιθεώρηση μέχρι την πιο πρόσφατη υιοθέτηση των μεθοδολογιών της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας (ΔΟΠ) και του Six Sigma.

Με την έλευση των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0, όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), η ανάλυση μεγάλων δεδομένων και η τεχνητή νοημοσύνη (AI), αναδύθηκε μια νέα έννοια: Ποιότητα 4.0. Η Ποιότητα 4.0 βασίζεται στις αρχές των παραδοσιακών μεθόδων διαχείρισης ποιότητας, αλλά τις ανεβάζει σε νέο επίπεδο ενσωματώνοντας αυτές τις προηγμένες τεχνολογίες για να επιτρέψει την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων και την αυτοματοποίηση των διαδικασιών.

Η ποιότητα 4.0 έχει τη δυνατότητα να φέρει την επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο οι οργανισμοί διαχειρίζονται και βελτιώνουν τις διαδικασίες ποιότητας, οδηγώντας σε βελτιωμένη ανταγωνιστικότητα, ικανοποίηση των πελατών και οικονομικά αποτελέσματα. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα εξερευνήσουμε την έννοια της Ποιότητας 4.0 λεπτομερέστερα, εξετάζοντας τους ορισμούς που έχουν δοθεί τα τελευταία χρόνια, τις αρχές και τα βασικά συστατικά της και θα καταλήξουμε εξετάζοντας τα εμπόδια και τους παράγοντες επιτυχίας για την εφαρμογή της Ποιότητας 4.0.

### 3.2 Εννοιολογική προσέγγιση και η εξέλιξη της ποιότητας με την πάροδο των χρόνων

Κατά την διάρκεια της βιβλιογραφικής έρευνας, εντοπίστηκαν διάφοροι συγγραφείς και οργανισμοί οι οποίοι επιδίωξαν να δώσουν έναν ορισμό για την πολυδιάστατη έννοια της Ποιότητας 4.0. Για παράδειγμα, οι Aldag και Eker (et al., 2018) όρισαν την Ποιότητα 4.0 ως τον συνδυασμό των παραδοσιακών πρακτικών διαχείρισης της ποιότητας με τις νέες τεχνολογίες. Ο Jacob (et al., 2017a) την όρισε ως τη μόχλευση των παραδοσιακών τεχνικών διαχείρισης της ποιότητας που επιτυγχάνεται μέσω των σύγχρονων τεχνολογιών για την επίτευξη ενός νέου επιπέδου αριστείας. Ο Allcock (et al., 2018) υπογράμμισε τη διαφορά μεταξύ της Ποιότητας 4.0 και της παραδοσιακής ποιότητας ως τη μετάβαση από τη χειροκίνητη μέτρηση στην πλήρως αυτοματοποιημένη δραστηριότητα με τη χρήση αισθητήρων και εφαρμογών λογισμικού. Ο Schönreiter (et al., 2017) την όρισε ως την ενσωμάτωση και τον συγχρονισμό σε πραγματικό χρόνο των δεδομένων που σχετίζονται με τις παραγωγικές διαδικασίες και δραστηριότητες με τη διαχείριση της ποιότητας.

Η Διεθνής Ακαδημία Ποιότητας (IAQ) και η Αμερικανική Εταιρεία Ποιότητας (ASQ) έχουν επίσης διατυπώσει τους δικούς τους ορισμούς για την Ποιότητα 4.0. Σύμφωνα με την ASQ, "η Ποιότητα 4.0 συνδυάζει τις προηγμένες ψηφιακές τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 με την αριστεία της ποιότητας για να οδηγήσει σε ουσιαστικές βελτιώσεις της απόδοσης και της αποτελεσματικότητας" (ASQ, 2021). Ο Sader (et al., 2021) την ορίζει, με μια πιο ισορροπημένη προσέγγιση, ως "τη νέα γενιά, εξέλιξη ή επανάσταση της διαχείρισης της ποιότητας, που προκύπτει σε συνδυασμό με την εμφάνιση της Βιομηχανίας 4.0 λόγω της προόδου των Τεχνολογιών Πληροφοριών και Επικοινωνίας και της Βιομηχανίας 4.0". Ο Antony (et al., 2021a) την ορίζει ως "τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), τα κυβερνο-φυσικά συστήματα (CPS), το υπολογιστικό νέφος (cloud computing) για το σχεδιασμό, τη λειτουργία και τη συντήρηση προσαρμοστικών, προβλεπτικών, αυτοδιορθωτικών, αυτοματοποιημένων συστημάτων ποιότητας μαζί με βελτιωμένη ανθρώπινη αλληλεπίδραση μέσω του σχεδιασμού ποιότητας, της διασφάλισης ποιότητας, του ελέγχου ποιότητας και της βελτίωσης της ποιότητας για την επίτευξη νέων βέλτιστων επιδόσεων και λειτουργικής αριστείας". Οι Dias κ.ά. (et al., 2021) περιγράφουν την Ποιότητα 4.0 ως "την παροχή ανώτερης ποιότητας, χρησιμοποιώντας τη σύγχρονη τεχνολογία για την επαύξηση των δυνατοτήτων τόσο των ανθρώπων όσο και των εργαλείων και μεθόδων ποιότητας".

Όλοι αυτοί οι ορισμοί υπογραμμίζουν τη σημασία της αξιοποίησης των δυνατοτήτων των ανατρεπτικών τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 για να διασφαλιστεί ότι οι αποφάσεις για την ποιότητα λαμβάνονται με λιγότερη ανθρώπινη παρέμβαση, η οποία οδηγεί σε λάθη ή σφάλματα, και περισσότερη παρέμβαση της τεχνολογίας. Η Ποιότητα 4.0 θεωρείται ως μια συγχώνευση ανθρώπων, διαδικασιών και τεχνολογίας (ASQ, et al., 2021) που έχει τις ρίζες της στις τεχνολογίες διαχείρισης, στατιστικής και Βιομηχανίας 4.0. Εξαρτάται επίσης από ένα δυναμικό οικοσύστημα που ευνοεί τη μάθηση, την απομάθηση και την εκ νέου μάθηση με δυναμική ανάλυση δεδομένων και λήψη αποφάσεων για τη βελτίωση και τη διατήρηση της ποιότητας (Escobar et al., 2021). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω τεχνολογιών όπως η τεχνητή νοημοσύνη, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), τα μεγάλα δεδομένα, το blockchain, η βαθιά μάθηση, η μηχανική μάθηση και η επιστήμη των δεδομένων για την επίτευξη διαδικασιών χωρίς ελαττώματα, έξυπνης και γρήγορης λήψης αποφάσεων (Radziwill, 2020).

Παρατηρούμε ότι έχουν δοθεί διαφορετικοί ορισμοί για την Ποιότητα 4.0, αλλά όλοι έχουν ως κοινό σημείο αναφοράς την ευθυγράμμιση της διαχείρισης της ποιότητας με τις τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων. Όλοι αυτοί οι ορισμοί υπογραμμίζουν τη σημασία της αξιοποίησης των νέων τεχνολογιών και της προστιθέμενης αξίας από την εν λόγω αξιοποίηση (Saihi et al., 2021). Σύμφωνα με τα όσα είπε ο Sader (et al., 2021) και ο Watson (et al., 2017), η Ποιότητα 4.0 μπορεί να οριστεί προσεγγίζοντας την ως συνέπεια της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης και ως ένα θέμα προσανατολισμένο/βασισμένο στην πληροφορική ή προσεγγίζοντας την Ποιότητα 4.0 ως το τέταρτο ξεχωριστό στάδιο της εξέλιξης της ποιότητας και της διαχείρισης ποιότητας. Κοιτώντας την Ποιότητα 4.0 ως το τέταρτο ξεχωριστό στάδιο της εξέλιξης της ποιότητας και της διαχείρισης ποιότητας και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Τσιότρας et al., 2016, Watson et al., 2017, Broday et al., 2021, Souza et al., 2021, Chiarini et al., 2021 και Sader et al., 2021) δημιουργήσαμε τον Πίνακα 1. Στον Πίνακα 1.



αναγράφονται τα στάδια της εξέλιξης της ποιότητας μέσα στην πάροδο των χρόνων και γίνεται μια συνοπτική περιγραφή του κάθε σταδίου.

Τα Στάδια της εξέλιξης της Ποιότητας και της Διαχείρισης Ποιότητας	Συνοπτική περιγραφή των σταδίων
<p><b>Ποιότητα 1.0</b> (Επιθεώρηση Ποιότητας και Έλεγχος Ποιότητας)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Επικεντρώθηκε κυρίως στην επιθεώρηση τελικών προϊόντων για να διασφαλίσει ότι πληρούν ορισμένα πρότυπα ποιότητας.</li> <li>-Έμφαση δόθηκε στον εντοπισμό και τη διόρθωση ελαττωμάτων μετά την εμφάνισή τους και όχι στην αποτροπή τους.</li> <li>-Η επιθεώρηση γινόταν από εκπαιδευμένους επιθεωρητές που έλεγχαν χειροκίνητα τα προϊόντα για ελαττώματα.</li> <li>-Οι περιορισμοί περιλάμβαναν την εστίαση στον όγκο παραγωγής και όχι στην ποιότητα και την έλλειψη έμφασης στη μείωση του κόστους, την εξάλειψη των αποβλήτων ή των απωλειών και της αναποτελεσματικότητας και τις κακές συνθήκες εργασίας.</li> </ul>
<p><b>Ποιότητα 2.0</b> (Διασφάλιση της Ποιότητας)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Η εστίαση μετατοπίστηκε από τον εντοπισμό και τη διόρθωση ελαττωμάτων στην πρόληψη της εμφάνισής τους.</li> <li>-Η ποιότητα δεν θεωρήθηκε πλέον ως ευθύνη ενός μόνο τμήματος ή ατόμου, αλλά ως ευθύνη ολόκληρου του οργανισμού.</li> <li>-Δόθηκε έμφαση στη χρήση στατιστικών μεθόδων και ανάλυσης δεδομένων για τον εντοπισμό και τον έλεγχο των πηγών διακύμανσης στις διαδικασίες παραγωγής.</li> <li>-Οι περιορισμοί περιλάμβαναν τον πρωταρχικό στόχο της μεγιστοποίησης της παραγωγικότητας και την έμφαση στην τήρηση ελάχιστου αποδεκτού επιπέδου προτύπων ποιότητας.</li> </ul>
<p><b>Ποιότητα 3.0</b> (Διοίκηση Ολικής Ποιότητας και Έλεγχος Ολικής Ποιότητας)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Στροφή προς μια πιο ολιστική προσέγγιση της διαχείρισης της ποιότητας.</li> <li>-Έμφαση στην ενσωμάτωση διαφόρων μεθοδολογιών και εργαλείων ποιότητας, όπως το Six Sigma, το TQM και το ISO 9000, για τη δημιουργία ενός πιο ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης ποιότητας.</li> <li>-Έμφαση στην ικανοποίηση του πελάτη και κατανόηση ότι η ποιότητα δεν αφορά μόνο το προϊόν ή την υπηρεσία αλλά ολόκληρη την εμπειρία του πελάτη.</li> <li>-Μεγαλύτερη έμφαση στη σημασία της ηγεσίας, της επικοινωνίας, της συμμετοχής των εργαζομένων στη διαχείριση της ποιότητας και της εφαρμογής δραστηριοτήτων συνεχούς βελτίωσης και τυποποίησης (ISO 9001)</li> </ul>
<p><b>Ποιότητα 4.0</b> (Ευθύνη για την Ποιότητα)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Εκτιμά τις προηγούμενες φάσεις ενσωματώνοντας προηγμένες τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), τα μεγάλα δεδομένα και η μηχανική μάθηση.</li> <li>-Επιτρέπει τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη ακριβέστερων και τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με την ποιότητα.</li> <li>-Μεγαλύτερη έμφαση στην αυτοματοποίηση, η οποία μπορεί να μειώσει την πιθανότητα ανθρώπινου λάθους και να αυξήσει την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών διαχείρισης της ποιότητας.</li> <li>-Δυναμική και προσαρμοστική προσέγγιση στη διαχείριση της ποιότητας, με έμφαση στη συνεχή βελτίωση και την προθυμία να μαθαίνουμε, να ακυρώνουμε τη γνώση και να ξαναμαθαίνουμε για την επίτευξη βέλτιστης απόδοσης και λειτουργικής αριστείας.</li> </ul>

Πίνακας 1. Τα στάδια της εξέλιξης της Ποιότητας και της Διαχείρισης Ποιότητας.

### 3.3 Οι βασικές αρχές και οι άξονες της Ποιότητας 4.0

Σύμφωνα με την Αμερικανική Εταιρεία Ποιότητας (ASQ), η Ποιότητα 4.0 αποτελείται από 3 βασικές αρχές: τους Ανθρώπους, την Διαδικασία και την Τεχνολογία.

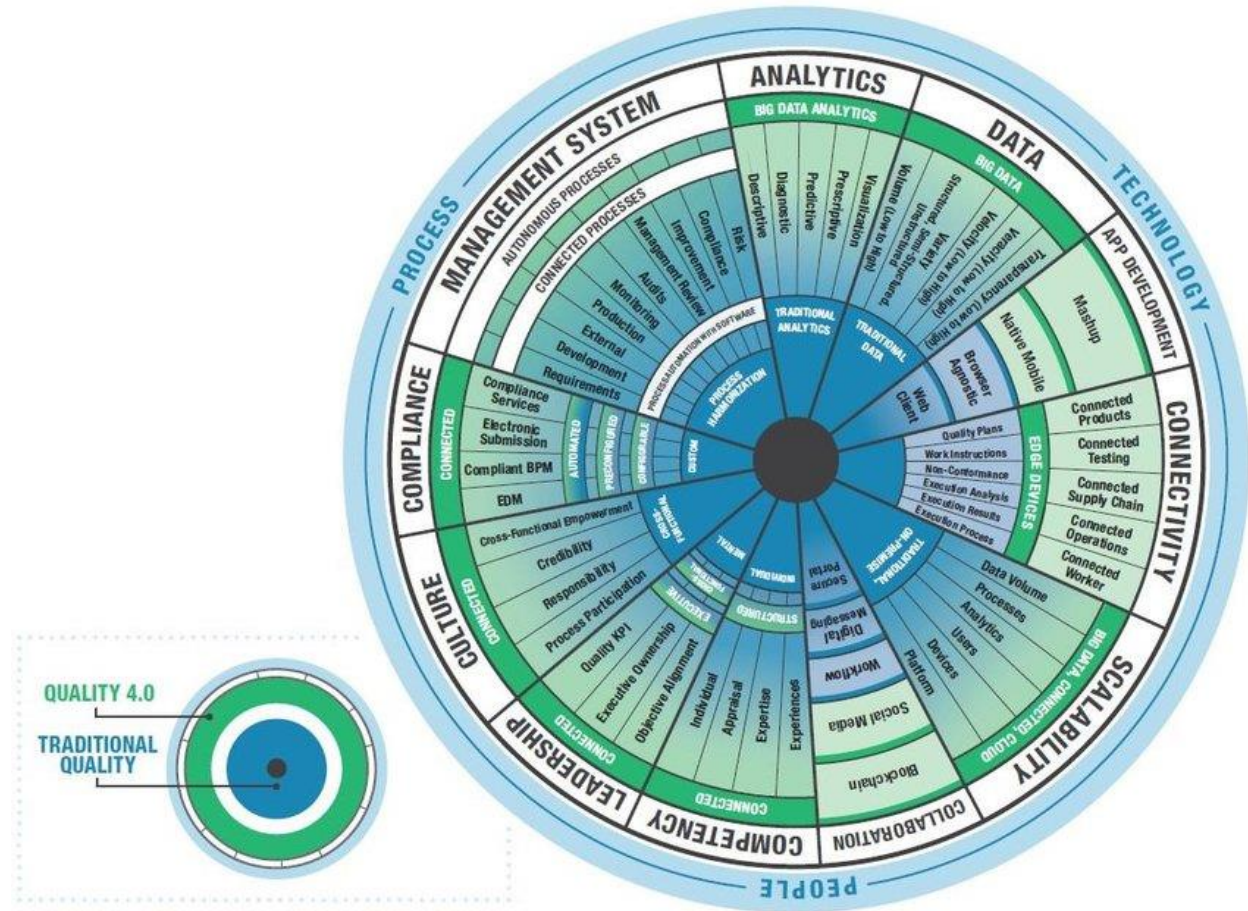
**Ανθρωποι:** Η ποιότητα 4.0 περιλαμβάνει όχι μόνο την ενσωμάτωση των τεχνολογικών εξελίξεων, αλλά και μια αλλαγή στην προσέγγιση της διαχείρισης της ποιότητας. Οι επαγγελματίες της ποιότητας πρέπει όχι μόνο να είναι εξοικειωμένοι με τα ψηφιακά εργαλεία που έχουν στη διάθεσή τους, αλλά και να διαθέτουν τις γνώσεις για την αποτελεσματική αξιοποίησή τους προκειμένου να επιτύχουν την αριστεία στην ποιότητα. Επιδεικνύοντας επάρκεια στις ψηφιακές τεχνολογίες και δίνοντας έμφαση στη σύνδεση μεταξύ της ποιότητας και της οργανωτικής προσαρμοστικότητας σε περιόδους αναταραχής, οι επαγγελματίες ποιότητας μπορούν να εξελιχθούν από την πρωταρχική επιβολή της συμμόρφωσης στην ενεργό καθοδήγηση και καθοδήγηση των οργανισμών μέσω του ψηφιακού μετασχηματισμού προς την αριστεία.

**Διαδικασίες:** Καθώς η αυτοματοποίηση συνεχίζει να αυξάνεται στο εργασιακό περιβάλλον, η ανάγκη για διαδικασίες χωρίς σφάλματα παραμένει υψίστης σημασίας. Με τη διατάραξη των παραδοσιακών διαδικασιών, θα είναι ζωτικής σημασίας για την επόμενη γενιά εργαζομένων να εκπαιδευτεί στην εφαρμογή νέων διαδικασιών και τακτικών. Αυτό δεν αφορά μόνο τους επαγγελματίες της ποιότητας, αλλά και τις συνολικές επιχειρηματικές λειτουργίες. Η ποιότητα διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο και θα πρέπει να ενσωματωθεί σε στρατηγικό επίπεδο για να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα κατά τη διαδικασία ψηφιακού μετασχηματισμού.

**Τεχνολογία:** Ο ρυθμός της τεχνολογικής προόδου έχει επιταχυνθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, γεγονός που καθιστά αναγκαία την ανάλογη εξέλιξη των επιχειρηματικών υποδομών, συμπεριλαμβανομένων των διαδικασιών, των συστημάτων, των δεδομένων, των λειτουργιών και της διακυβέρνησης. Η τεχνολογία έχει επίσης τη δυνατότητα να εκδημοκρατίσει την πρόσβαση σε πόρους και δυνατότητες, δίνοντας τη δυνατότητα σε άτομα και μικρούς οργανισμούς να ανταγωνίζονται με ίσους όρους με μεγαλύτερες οντότητες. Προκειμένου να συμβαδίσουν με αυτό το ταχέως μεταβαλλόμενο τοπίο, οι επαγγελματίες της ποιότητας πρέπει να μεταβούν από ρόλους ανάλυσης δεδομένων στην ενεργό ενασχόληση με τις νέες τεχνολογίες, να αποκτήσουν επάρκεια σε αυτές τις εξελίξεις και να καθορίσουν πότε και πώς να τις αξιοποιήσουν στο έπακρο προκειμένου να αντλήσουν αξία από τα δεδομένα.

Η Αμερικανική Εταιρεία Ποιότητας (ASQ) θεωρεί ότι η επίτευξη εξαιρετικών αποτελεσμάτων μέσω υψηλών προτύπων είναι το κλειδί για την υιοθέτηση του μέλλοντος της ποιότητας. Είναι σημαντικό για τους επαγγελματίες του χώρου να βοηθήσουν τις εταιρείες τους να κατανοήσουν τη σύνδεση μεταξύ της εξαιρετικής ποιότητας και της ικανότητας προσαρμογής και ανάπτυξης σε περιόδους αλλαγών, χρησιμοποιώντας τις αρχές της ποιότητας για να προωθήσουν την αλλαγή και την πρόοδο.

Βασισμένοι στις 3 αυτές αρχές, ο Jacob και το ερευνητικό Ίδρυμα LNS Research, μέσα από μια επιχειρηματική ανάλυση, προσδιόρισαν τους 11 Άξονες της Ποιότητας 4.0, οι οποίοι παρουσιάζονται στην Εικόνα 1. Παρατηρούμε, ότι οι 11 αυτοί Άξονες περικλείονται από τις 3 Αρχές της Ποιότητας 4.0 που έθεσε ο Jacob (et al., 2017) και είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Η εξοικείωση με αυτούς τους άξονες - οι οποίοι περιλαμβάνουν τόσο οικεία ζητήματα ποιότητας όσο και άλλα που μπορεί να είναι λιγότερο οικεία - θα βοηθήσει οποιονδήποτε οργανισμό να κινηθεί προς την υιοθέτηση της Ποιότητας 4.0 ως το θεμέλιο των συστημάτων διαχείρισης ποιότητας (Juran et al., 2019).



Εικόνα 1. Οι 11 Άξονες της Ποιότητας 4.0 (Jacob et al., 2017)

**Δεδομένα:** Τα δεδομένα αποτελούσαν ανέκαθεν θεμελιώδη πτυχή του τομέα της ποιότητας και κρίσιμο στοιχείο για την πρόοδο. Παρόλα αυτά, πολλοί οργανισμοί εξακολουθούν να αγωνίζονται με καθυστερήσεις στη διαδικασία συλλογής, ανάλυσης και λήψης αποφάσεων δεδομένων. Οι εξελίξεις της βιομηχανίας 4.0, συμπεριλαμβανομένων των προηγμένων αναλύσεων, της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης, προσφέρουν τη δυνατότητα στους οργανισμούς να αποκτήσουν ορατότητα σε πραγματικό χρόνο σε κρίσιμες μετρήσεις ποιότητας, όπως η εσωτερική μηχανική και κατασκευαστική απόδοση, η απόδοση των προμηθευτών και η εξυπηρέτηση των πελατών. Αναπόσπαστο στοιχείο της ποιότητας 4.0 είναι η δυνατότητα αποτελεσματικής

συλλογής δεδομένων από πολλαπλές πηγές, επιτρέποντας την ευέλικτη και τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων (Juran et al., 2019).

**Αναλύσεις:** Η έρευνα της LNS αποκαλύπτει ότι το 37% των οργανισμών αναγνωρίζει τις ανεπαρκείς μετρήσεις ως το κύριο εμπόδιο για την επίτευξη των στόχων ποιότητας. Επί του παρόντος, οι μετρικές ποιότητας παρέχουν κυρίως πληροφορίες σχετικά με τα γεγονότα του παρελθόντος, τους λόγους που τα προκάλεσαν και κάνουν προβλέψεις για τα πιθανά αποτελέσματα αυτών των γεγονότων. Ωστόσο, οι τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0, όπως τα μεγάλα δεδομένα, η μηχανική μάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη, επιτρέπουν την ενσωμάτωση μιας τέταρτης κατηγορίας, της προδιαγραφικής ανάλυσης, στο πλαίσιο περιγραφικής/διαγνωστικής/πρόβλεψης. Αυτό επιτρέπει την πρόβλεψη πιθανών αστοχιών και τον προσδιορισμό των ενεργειών που μπορούν να αναληφθούν για τη μεταβολή του αποτελέσματος, μέσω της χρήσης γνώσεων μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης (Juran et al., 2019).

**Συνδεσιμότητα:** Στο πλαίσιο της Ποιότητας 4.0, η συνδεσιμότητα αναφέρεται στη σύνδεση μεταξύ της τεχνολογίας πληροφοριών ("ΤΠ") και της επιχειρησιακής τεχνολογίας ("ΕΤ"). Η ΤΠ περιλαμβάνει εργαλεία όπως τα συστήματα διαχείρισης ποιότητας επιχειρήσεων, τον προγραμματισμό πόρων επιχειρήσεων και τη διαχείριση του κύκλου ζωής των προϊόντων, ενώ η ΕΤ περιλαμβάνει την τεχνολογία που χρησιμοποιείται στην παραγωγή, το εργαστήριο και τις υπηρεσίες. Η χρήση φθηνών αισθητήρων για τη σύνδεση ατόμων (μέσω έξυπνων συσκευών ή wearables), προϊόντων (για παράδειγμα, παρέχοντας ανατροφοδότηση επιδόσεων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους), συσκευών άκρων (που μπορούν να εκτελούν τοπικές αναλύσεις χωρίς να επιβαρύνουν τα κεντρικά συστήματα ΕΤ) και διαδικασιών μπορεί να επιτρέψει τη συλλογή ανατροφοδότησης σε πραγματικό ή σχεδόν πραγματικό χρόνο. Η συνδεσιμότητα επιτρέπει έτσι τη συγκέντρωση δεδομένων και την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την αποδοτικότερη και αποτελεσματικότερη διαχείριση της ποιότητας (Juran et al., 2019).

**Συνεργασία:** Το λογισμικό του συστήματος διαχείρισης της ποιότητας σε επιχειρήσεις (EQMS) μπορεί να βοηθήσει τους οργανισμούς στην απλοποίηση και την ενσωμάτωση των πρακτικών ποιότητας για την ενίσχυση της συμμόρφωσης και της αποδοτικότητας. Ωστόσο, το ίδρυμα LNS Research διαπίστωσε ότι μόνο το 21% των οργανισμών έχουν εφαρμόσει ένα βασικό Επιχειρησιακό Σύστημα Διαχείρισης της Ποιότητας (EQMS), αφήνοντας την πλειοψηφία των εταιρειών να βασίζονται σε μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, αυτοματοποιημένες ροές εργασίας και πύλες για τη διαχείριση των δραστηριοτήτων ποιότητας. Η ποιότητα 4.0 μπορεί να αξιοποιήσει νέες τεχνολογίες και μεθόδους, όπως η κοινωνική ακρόαση και το blockchain, για να αποκτήσει πληροφορίες σχετικά με παράγοντες όπως η ικανοποίηση των πελατών και να παρέχει μεγαλύτερη διαφάνεια στην κίνηση των εξαρτημάτων και των προϊόντων μέσω των αλυσίδων εφοδιασμού (Juran et al., 2019).

**Ανάπτυξη Εφαρμογών:** Σε μια κοινωνία όπου κυριαρχούν τα smartphones, τα tablets και οι φορητές συσκευές, οι εφαρμογές έχουν γίνει αναπόσπαστο μέρος της καθημερινής ζωής τόσο για τα άτομα όσο και για τους οργανισμούς που είναι σε θέση να προσαρμόζονται στις τάσεις. Ωστόσο, είναι κάτι περισσότερο από μια απλή τάση, καθίστανται ένα ζωτικό εργαλείο για τις εταιρείες προκειμένου να αλληλεπιδρούν με τους πελάτες, τους υπαλλήλους και άλλους

ενδιαφερόμενους, καθώς και να συλλέγουν κρίσιμα δεδομένα και ανατροφοδότηση. Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν τεχνολογίες όπως η επαυξημένη πραγματικότητα και η εικονική πραγματικότητα έχουν πολλές δυνατότητες στον εργασιακό χώρο της Βιομηχανίας 4.0. Αυτές οι προηγμένες εφαρμογές μπορούν να προσφέρουν νέες ευκαιρίες για τη συλλογή πληροφοριών, την επικοινωνία και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών (Juran et al., 2019).

**Επεκτασιμότητα:** Σύμφωνα με έρευνα της LNS, το 37% των οργανισμών αναγνωρίζει τον κατακερματισμό των πηγών και των συστημάτων δεδομένων ως το κύριο εμπόδιο για την επίτευξη των στόχων ποιότητας. Αυτή η έλλειψη επεκτασιμότητας εμποδίζει τους οργανισμούς, είτε ακολουθούν τις παραδοσιακές πρακτικές διαχείρισης ποιότητας είτε την Ποιότητα 4.0, να ενσωματώσουν πλήρως και αποτελεσματικά τις διαδικασίες, τις αρμοδιότητες και τις βέλτιστες πρακτικές. Ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία της Βιομηχανίας 4.0 που μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη της επεκτασιμότητας είναι το υπολογιστικό νέφος, συμπεριλαμβανομένου του λογισμικού ως υπηρεσία (Software-as-a-Service), της υποδομής ως υπηρεσία (Infrastructure-as-a-Service) ή της πλατφόρμας ως υπηρεσία (Platform-as-a-Service) (Juran et al., 2019).

**Συστήματα Διαχείρισης:** Έχει αναφερθεί προηγουμένως ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό οργανισμών, το 21% σύμφωνα με την έρευνα του LNS Research, έχει εφαρμόσει ένα επιχειρησιακό σύστημα διαχείρισης ποιότητας, παρά τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν όσον αφορά την επεκτασιμότητα, την ενσωμάτωση των διαδικασιών ποιότητας και την κεντρική ανάλυση. Για να αξιοποιήσουν πλήρως τις δυνατότητες του Quality 4.0, οι οργανισμοί θα πρέπει να στοχεύουν στην αυτοματοποίηση των διαδικασιών με τη χρήση λογισμικού και στην ευθυγράμμιση και σύνδεση αυτών των αυτοματοποιημένων διαδικασιών με άλλα συστήματα και λειτουργίες. Με την αύξηση της αυτονομίας του συστήματος, οι οργανισμοί μπορούν να μειώσουν το χρόνο και τους πόρους που δαπανώνται για την εκτέλεση, επιτρέποντας στο προσωπικό και τη διοίκηση υψηλότερης αξίας να επικεντρωθούν στη βελτίωση και την καινοτομία (Juran et al., 2019).

**Συμμόρφωση:** Η Ποιότητα 4.0 προσφέρει μια σειρά εργαλείων και μεθοδολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αυτοματοποίηση των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη συμμόρφωση. Η συνεργασία μέσω των μέσων κοινωνικής δικτύωσης μπορεί να διευκολύνει την ανταλλαγή επιτυχημένων στρατηγικών συμμόρφωσης σε διάφορα τμήματα και τοποθεσίες. Οι προηγμένες αναλύσεις παρέχουν τη δυνατότητα εντοπισμού πιθανών παραβιάσεων συμμόρφωσης, επιτρέποντας τη λήψη προληπτικών μέτρων. Η ενσωμάτωση της επιχειρησιακής τεχνολογίας πληροφοριών και της επιχειρησιακής τεχνολογίας μπορεί να βοηθήσει στην αυτοματοποίηση των εργασιών και της συλλογής δεδομένων που σχετίζονται με τη συμμόρφωση. Η ποιότητα 4.0 επιτρέπει στους οργανισμούς να αξιολογούν τις τρέχουσες πρακτικές συμμόρφωσης και να εντοπίζουν τομείς για βελτίωση (Juran et al., 2019).

**Κουλτούρα:** Πολλές εταιρείες πιστεύουν ότι καλλιεργούν μια "κουλτούρα ποιότητας". Παρόλα αυτά, η έρευνα του LNS Research δείχνει ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό, 13%, των διαλειτουργικών ομάδων έχουν σαφή κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η ποιότητα ευθυγραμμίζεται με τη στρατηγική επιτυχία. Με την ενσωμάτωση των δεδομένων, των αναλύσεων και των διαδικασιών και, συνεπώς, με την αύξηση της ορατότητας, της συνδεσιμότητας, της συνεργασίας και της



διορατικότητας, η Ποιότητα 4.0 καθιστά πιο εφικτή για τους οργανισμούς την καθιέρωση μιας πραγματικής, οργανωσιακής κουλτούρας ποιότητας (Juran et al., 2019).

**Ηγεσία:** Τα άτομα που εργάζονται σε ρόλους ποιότητας αναγνωρίζουν τη σημασία της για την οργανωτική επιτυχία, αλλά η προοπτική αυτή δεν είναι πάντα κοινή για τα ανώτερα διοικητικά στελέχη. Η έρευνα της LNS Research δείχνει ότι ένα σχετικά χαμηλό ποσοστό οργανισμών, το 37%, θεωρεί την ποιότητα κρίσιμη για την ικανοποίηση των πελατών, μόνο το 26% συμφωνεί ότι η λειτουργία ποιότητας διαδραματίζει σαφή και σημαντικό ρόλο στην εκτέλεση της εταιρικής στρατηγικής και μόνο το 13% δήλωσε ότι η ποιότητα αποτελεί προτεραιότητα για την ανώτατη διοίκηση. Η ποιότητα 4.0 αποτελεί μια ευκαιρία για τις ομάδες ποιότητας να ευθυγραμμίσουν τους στόχους και τις πρακτικές τους με τους οργανωτικούς στόχους πιο αποτελεσματικά (Juran et al., 2019).

**Ικανότητα:** Η ποιότητα 4.0 περιλαμβάνει μια σειρά τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση των ικανοτήτων. Οι πλατφόρμες κοινωνικής δικτύωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανταλλαγή γνώσεων και εμπειριών μεταξύ των οργανισμών. Η τεχνητή νοημοσύνη και οι εκροές της μηχανικής μάθησης μπορούν να αξιοποιηθούν για τη δημιουργία νέων ικανοτήτων, ενώ τα συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας (AR) και εικονικής πραγματικότητας (VR) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση των δεξιοτήτων των εργαζομένων. Οι έξυπνες συσκευές και τα wearables μπορούν να βοηθήσουν στις αξιολογήσεις των εργαζομένων, ενώ τα συστήματα διαχείρισης μάθησης, η Επαυξημένη Πραγματικότητα και η Εικονική Πραγματικότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της παροχής κατάρτισης (Juran et al., 2019).

### 3.4 Τα βασικά εμπόδια και οι παράγοντες επιτυχίας της Ποιότητας 4.0

Η ποιότητα 4.0 αντιπροσωπεύει μια σημαντική αλλαγή στον τρόπο διαχείρισης και βελτίωσης της ποιότητας στους οργανισμούς. Ωστόσο, για την εφαρμογή της Ποιότητας 4.0 υπάρχουν αρκετές προκλήσεις. Ορισμένα από τα κύρια εμπόδια για την επιτυχή εφαρμογή της Ποιότητας 4.0 περιλαμβάνουν:

**Υψηλό κόστος επένδυσης:** Σύμφωνα με τους Chiarini (et al., 2020) και Sony (et al., 2020), η εφαρμογή της Ποιότητας 4.0 απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε τεχνολογία και υποδομές, καθώς και την πρόσληψη εξειδικευμένου προσωπικού. Αυτό μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εμπόδιο για τους οργανισμούς, ιδίως για τις μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις.

**Έλλειψη πόρων:** Όπως αναφέρουν οι Shin (et al., 2018), Sony (et al., 2020), Schonreiter (et al., 2016) και Johnson (et al., 2019), η εφαρμογή της Ποιότητας 4.0 απαιτεί πόρους όσον αφορά φυσικούς πόρους, όπως CPS, IoT, RFID, αισθητήρες, έξυπνη κατασκευή κ.λπ. Επιπλέον, απαιτεί επίσης πνευματικούς πόρους, όπως τεχνική τεχνογνωσία, βάσεις δεδομένων, ευφυείς αλγόριθμους κ.λπ. και ανθρώπινους πόρους, όπως εξειδικευμένους διαχειριστές ποιότητας, μηχανικούς ποιότητας και διευθυντές ποιότητας.

**Έλλειψη κατανόησης:** Σύμφωνα με τους Nguyen και Melkote (et al., 2020), πολλοί οργανισμοί έχουν περιορισμένη γνώση και κατανόηση της Ποιότητας 4.0, γεγονός που μπορεί να δυσχεράνει την πλήρη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων της τεχνολογίας.

**Προβληματισμοί σχετικά με την ασφάλεια των δεδομένων και την προστασία της ιδιωτικής ζωής:** Όπως τονίζεται από τους Godina (et al., 2019) και Sader (et al., 2019a), Η εφαρμογή της Ποιότητας 4.0 απαιτεί τη συλλογή και ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων, γεγονός που μπορεί να εγείρει ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια των δεδομένων και την προστασία της ιδιωτικής ζωής.

**Ζητήματα διαλειτουργικότητας:** Σύμφωνα με τον Sony (et al., 2020), η Ποιότητα 4.0 βασίζεται στην ενσωμάτωση πολλαπλών συστημάτων και τεχνολογιών από διαφορετικούς προμηθευτές, η οποία μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθεί λόγω ζητημάτων διαλειτουργικότητας.

**Διαχείριση αλλαγών:** Όπως αναφέρει ο Chiarini (et al., 2020), η Ποιότητα 4.0 αντιπροσωπεύει μια σημαντική αλλαγή στον τρόπο διαχείρισης της ποιότητας, η οποία μπορεί να αποτελέσει πρόκληση για τους οργανισμούς να προσαρμοστούν.

**Κοινωνικοπολιτιστικός και κοινωνικοτεχνικός μετασχηματισμός:** Σύμφωνα με τους Ramezani και Jassbi (et al., 2020), η Ποιότητα 4.0 απαιτεί αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο εργάζονται οι άνθρωποι και στον τρόπο λειτουργίας των οργανισμών, οι οποίες μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθούν χωρίς κατάλληλη προσέγγιση στον πολιτισμικό και τεχνικό μετασχηματισμό.

**Κυβερνοασφάλεια:** Όπως αναφέρει ο Sader et al. (2019a), η Ποιότητα 4.0 βασίζεται σε διασυνδεδεμένα συστήματα και τεχνολογίες, γεγονός που τα καθιστά πιο ευάλωτα σε κυβερνοεπιθέσεις.

**Αποδοχή από τους χρήστες:** Σύμφωνα με τον Sony et al. (2020), η Ποιότητα 4.0 απαιτεί την αποδοχή των νέων τεχνολογιών και των προβλημάτων διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφόρων ψηφιακών συστημάτων από διαφορετικούς προμηθευτές.

**Έλλειψη της σαφούς απόδοσης της επένδυσης:** Όπως αναφέρουν οι Antony (et al., 2021a) και Sony (et al., 2020), τα οφέλη της Ποιότητας 4.0 δεν είναι πάντα σαφή και μπορεί να είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν, γεγονός που μπορεί να καταστήσει δύσκολη την αιτιολόγηση της επένδυσης στην τεχνολογία από τους οργανισμούς.

**Έλλειψη τυποποίησης:** Σύμφωνα με τους Zaidin (et al., 2018), η έλλειψη τυποποίησης στις τεχνολογίες και τα συστήματα της Ποιότητας 4.0 μπορεί να δυσχεράνει την αποτελεσματική ενσωμάτωση και αξιοποίησή τους από τους οργανισμούς.

**Ανεπαρκές ρυθμιστικό πλαίσιο:** Σύμφωνα με τον Sader (et al., 2019a), η έλλειψη σαφούς ρυθμιστικού πλαισίου για την Ποιότητα 4.0 μπορεί να δυσχεράνει την εφαρμογή της τεχνολογίας και τη συμμόρφωση των οργανισμών με τους κανονισμούς.

**Ανθρώπινοι παράγοντες:** Σύμφωνα με τον Balouei (et al., 2022), η πρόκληση της Ποιότητας 4.0 δεν έγκειται στον αυτοματισμό ή την τεχνολογία, αλλά στους ανθρώπους που χρησιμοποιούν την

τεχνολογία. Η ενίσχυση των τεχνικών ικανοτήτων και της ικανότητας των ανθρώπων να επιλύουν προβλήματα με βάση αξιόπιστα δεδομένα και επιστημονική μεθοδολογία είναι ζωτικής σημασίας.

Συμπερασματικά, ενώ η Ποιότητα 4.0 παρουσιάζει πολλές ευκαιρίες για τους οργανισμούς να βελτιώσουν την ποιότητα και την αποδοτικότητα, συνοδεύεται επίσης από σημαντικές προκλήσεις. Οι προκλήσεις αυτές περιλαμβάνουν: υψηλό κόστος επένδυσης, έλλειψη πόρων, έλλειψη κατανόησης, ανησυχίες για την ασφάλεια των δεδομένων και την προστασία της ιδιωτικής ζωής, ζητήματα διαλειτουργικότητας, διαχείριση αλλαγών, κοινωνικοπολιτισμικό και κοινωνικοτεχνικό μετασχηματισμό, ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, αποδοχή από τους χρήστες, έλλειψη σαφούς απόδοσης της επένδυσης, έλλειψη τυποποίησης, ανεπαρκές κανονιστικό πλαίσιο και ανθρώπινους παράγοντες. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων θα είναι ζωτικής σημασίας για τους οργανισμούς που επιθυμούν να εφαρμόσουν με επιτυχία την Ποιότητα 4.0.

Παρατηρούμε ότι θα χρειαστεί να αντιμετωπιστούν διάφορες προκλήσεις και εμπόδια στη πορεία για την εφαρμογή της Ποιότητας 4.0. Ωστόσο, για να διασφαλιστεί η επιτυχία της εφαρμογής της, είναι ζωτικής σημασίας να ληφθούν υπόψη διάφοροι βασικοί παράγοντες που είναι απαραίτητοι για να καταστυθεί αυτή η εφαρμογή επιτυχημένη.

Πρώτον, η υποστήριξη της ανώτατης διοίκησης είναι ζωτικής σημασίας για την εφαρμογή της Ποιότητας 4.0. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η εφαρμογή θα απαιτήσει πόρους και πρωτοβουλίες αλλαγής που θα εφαρμοστούν σε ολόκληρο τον οργανισμό και χωρίς την υποστήριξη της ανώτατης διοίκησης, μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθεί επιτυχία. Ο Sony (et al., 2020) υπογραμμίζει τη σημασία της υποστήριξης της ανώτατης διοίκησης για την επιτυχία της εφαρμογής της Ποιότητας 4.0.

Δεύτερον, η οργανωτική κουλτούρα που είναι ανοικτή στην Ποιότητα 4.0 είναι ζωτικής σημασίας. Αυτή η κουλτούρα θα πρέπει να είναι μια κουλτούρα διαφάνειας, συνδεσιμότητας, συνεργασίας και διορατικότητας με τη χρήση μεγάλων δεδομένων και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (Sony and Naik et al., 2019a, Sony et al., 2020a). Οι εργαζόμενοι εντός του οργανισμού θα πρέπει να είναι ανοιχτοί στην υιοθέτηση της νέας τεχνολογίας και της κουλτούρας που βασίζεται στα μεγάλα δεδομένα. Μια κουλτούρα αλλαγής και καινοτομίας είναι απαραίτητη για την επιτυχή εφαρμογή της Ποιότητας 4.0.

Τρίτον, η αποτελεσματική ηγεσία είναι ζωτικής σημασίας για την εφαρμογή της Ποιότητας 4.0. Ένα μοντέλο ηγεσίας που προωθεί την καινοτομία, τη μάθηση και την αποδοχή των νέων πρακτικών διαχείρισης της ποιότητας και των δυνατοτήτων της Βιομηχανίας 4.0 θα ωφελήσει τον οργανισμό κατά τη μετάβαση στην Ποιότητα 4.0. Οι οργανισμοί που έχουν ηγέτες που είναι καινοτόμοι, αναλαμβάνουν κινδύνους και προωθούν τον ψηφιακό μετασχηματισμό, τη μάθηση και την ανάπτυξη είναι σε καλή θέση για την εφαρμογή της Ποιότητας 4.0 (Sony et al., 2020).

Τέταρτον, είναι σημαντικό να υπάρχει σαφές όραμα και στρατηγική που να ευθυγραμμίζεται με το συνολικό όραμα και τη στρατηγική του οργανισμού. Η Ποιότητα 4.0 μπορεί να βοηθήσει τους οργανισμούς να επιτύχουν το όραμα και τη στρατηγική τους. Η έρευνα των Porter και Heppelmann (2014) δείχνει ότι τα ψηφιακά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος με τη δημιουργία ποιοτικών προϊόντων και υπηρεσιών σε ανταγωνιστική τιμή.



Πέμπτον, η γνώση και η ευαισθητοποίηση των εργαζομένων σχετικά με την Ποιότητα 4.0 είναι ζωτικής σημασίας. Με τον ψηφιακό μετασχηματισμό των επαναλαμβανόμενων εργασιών, οι εργαζόμενοι θα απαιτούν ένα ευρύ φάσμα τεχνικών και κοινωνικών δεξιοτήτων (Bonekamp and Sure et al., 2015, Frey and Osborne et al., 2017). Οι επαγγελματίες ποιότητας που εφαρμόζουν την Ποιότητα 4.0 θα χρειαστούν ένα ευρύ σύνολο δεξιοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της γνώσης και της ευαισθητοποίησης σχετικά με την Ποιότητα 4.0 (Sony et al., 2020).

Έκτον, η ύπαρξη πελατοκεντρικής προσέγγισης είναι σημαντική. Η επιτυχία των πρακτικών διαχείρισης της ποιότητας εξαρτάται από το πόσο καλά ένας οργανισμός μπορεί να παράγει προϊόντα και υπηρεσίες που ανταποκρίνονται στις ανάγκες των πελατών. Ένας οργανισμός με επίκεντρο τον πελάτη θα ευθυγραμμίσει τα προγράμματα ποιότητας ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες των πελατών του (Osakwe et al., 2020). Η Ποιότητα 4.0, με τις δυνατότητές της για την ανταλλαγή μεγάλων δεδομένων πολλαπλών ροών με τη χρήση των Τεχνολογιών Πληροφορικής (IT) σε όλα τα στάδια του σχεδιασμού προϊόντων, μπορεί να βοηθήσει τους οργανισμούς να ανταποκριθούν στις ανάγκες των πελατών τους (Sony et al., 2020).

Έβδομον, η αποτελεσματική διαχείριση των προμηθευτών είναι ζωτικής σημασίας. Ένα καλό σύστημα διαχείρισης προμηθευτών επιτρέπει στους οργανισμούς να παρακολουθούν, να επιθεωρούν, να ελέγχουν και να αναλύουν τους προμηθευτές σε τακτά χρονικά διαστήματα, διασφαλίζοντας ότι λαμβάνουν υλικά υψηλής ποιότητας. Οι οργανισμοί που διαθέτουν ένα αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης προμηθευτών θα είναι καλά προετοιμασμένοι για την εφαρμογή της Ποιότητας 4.0 (Sony et al., 2020).

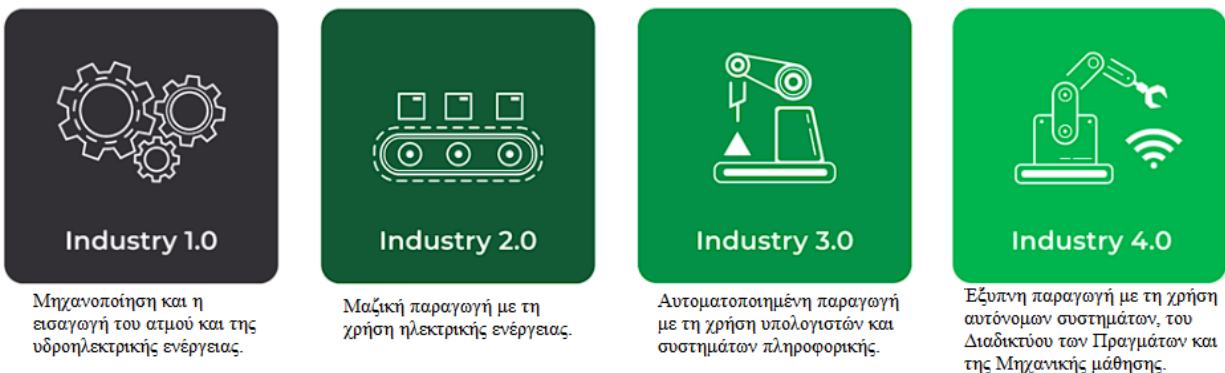
Όγδοο, η παροχή εκπαίδευσης και ανταμοιβών για τους εργαζόμενους είναι ζωτικής σημασίας. Οι εργαζόμενοι θα χρειαστούν εκπαίδευση για να μπορέσουν να χρησιμοποιήσουν και να επωφεληθούν από τις νέες τεχνολογίες και τα συστήματα που συνοδεύουν την εφαρμογή της Ποιότητας 4.0 (Zonnenshain and Kenett et al., 2020). Η παροχή κατάρτισης όχι μόνο βοηθά τους εργαζόμενους να κατανοήσουν τις νέες τεχνολογίες αλλά τους επιτρέπει επίσης να είναι πιο παραγωγικοί, αποδοτικοί και αποτελεσματικοί. Επιπλέον, η επιβράβευση των εργαζομένων για τη συμβολή τους στην εφαρμογή της Ποιότητας 4.0 μπορεί να τους παρακινήσει και να τους ενθαρρύνει να συνεχίσουν να υποστηρίζουν την πρωτοβουλία (Sony et al., 2020).

Συνοψίζοντας, η επιτυχής εφαρμογή της Ποιότητας 4.0 απαιτεί την υποστήριξη της ανώτατης διοίκησης, μια οργανωτική κουλτούρα ανοικτή στην Ποιότητα 4.0, αποτελεσματική ηγεσία, σαφές όραμα και στρατηγική, γνώση και ευαισθητοποίηση των εργαζομένων για την Ποιότητα 4.0, πελατοκεντρική προσέγγιση, αποτελεσματική διαχείριση των προμηθευτών και παροχή εκπαίδευσης και ανταμοιβών στους εργαζόμενους. Οι οργανισμοί που διαθέτουν αυτούς τους παράγοντες ετοιμότητας θα είναι καλύτερα προετοιμασμένοι να εφαρμόσουν την Ποιότητα 4.0 και να αποκομίσουν τα οφέλη που προσφέρει. Όμως, η κατάσταση δεν είναι τόσο απλή όσο μπορεί να φαίνεται σε κάποιους, καθώς απαιτείται δέσμευση ολόκληρου του οργανισμού στο εγχείρημα προς την Ποιότητα 4.0, αφού οι προκλίσεις που εντοπίστηκαν καταστούν αναγκαίο τον επαναπροσανατολισμό του οργανισμού προς μια ομαδική πορεία με κοινό στόχο, όραμα και στρατηγική για την επιτυχή εφαρμογή της Ποιότητας 4.0.

## 4. Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0)

### 4.1 Εισαγωγή

Η βιομηχανική επανάσταση που ξεκίνησε στην Αγγλία γύρω στο 1780 επέφερε σημαντικές αλλαγές και καινοτομίες. Οι μελετητές έχουν χωρίσει την επανάσταση αυτή σε τέσσερις διακριτές φάσεις. Η πρώτη φάση, η οποία έλαβε χώρα γύρω στο 1780, χαρακτηρίστηκε από τη χρήση του σιδήρου και την εξάρτηση από το νερό και την ατμοηλεκτρική ενέργεια. Η δεύτερη φάση, η οποία ξεκίνησε γύρω στο 1870, είδε τη χρήση του χάλυβα, του ηλεκτρισμού και της μαζικής παραγωγής. Η τρίτη φάση, η οποία ξεκίνησε γύρω στο 1950, χαρακτηρίστηκε από την εξάρτηση από την ηλεκτρονική και την εισαγωγή του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή (PLC) το 1969 (Souza, Corsi & Pagani et al., 2021). Η τρέχουσα φάση, γνωστή ως Βιομηχανία 4.0, επικεντρώνεται στην αυτοματοποίηση των διαδικασιών παραγωγής μέσω της χρήσης διαφόρων τεχνολογιών (Aceto et al., 2019). Οι φάσεις αυτές φαίνονται στην Εικόνα 2. Η Βιομηχανία 4.0 χαρακτηρίζεται από ευφυείς διαδικασίες και προϊόντα που υποστηρίζουν την αυτόματη συλλογή και ανάλυση δεδομένων (Buer et al., 2018). Στόχος της είναι η ανάπτυξη αυτόνομων και δυναμικών λειτουργιών που επιτρέπουν τη μαζική παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων (Asif, 2020).



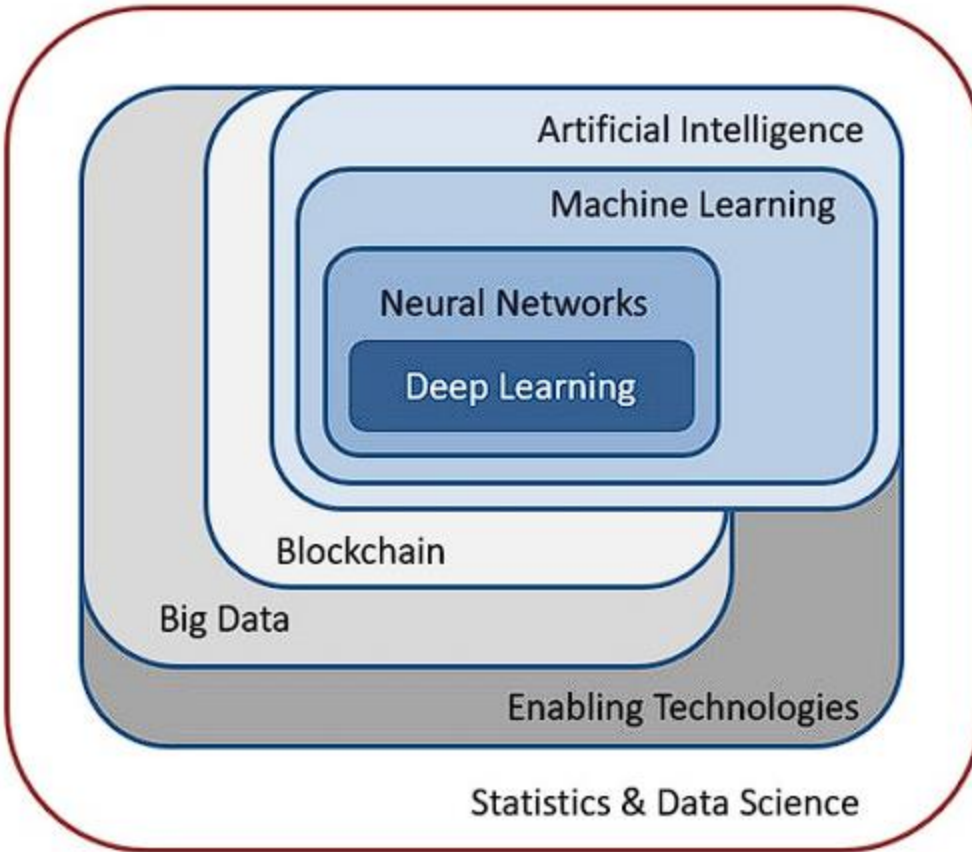
Εικόνα 2. Οι τέσσερις Βιομηχανικές Επαναστάσεις. (Synowiec et al., 2022)

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα εμβαθύνουμε στα κύρια εργαλεία και τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0, συμπεριλαμβανομένης της εξέτασης της έννοιας του έξυπνου εργοστασίου. Θα ξεκινήσουμε παρέχοντας μια επισκόπηση των βασικών εργαλείων και τεχνολογιών που οδηγούν στη Βιομηχανία 4.0, όπως τα Μεγάλα Δεδομένα και η Αναλυτική, η Τεχνητή Νοημοσύνη και ενεργοποιητικές τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Στη συνέχεια θα εξερευνήσουμε την έννοια του έξυπνου εργοστασίου, το οποίο αποτελεί το επόμενο βήμα στην εξέλιξη της μεταποίησης. Αυτό θα περιλαμβάνει την εξέταση των διαφόρων στρωμάτων που συνθέτουν ένα έξυπνο εργοστάσιο. Τέλος, θα ολοκληρώσουμε το κεφάλαιο συζητώντας τα οφέλη που μπορεί να επιφέρει η Βιομηχανία 4.0 μέσα από το πρίσμα της ποιότητας, συμπεριλαμβανομένης της βελτίωσης της προσαρμογής και της εμπειρίας του πελάτη, της

βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων και της μεγαλύτερης ευελιξίας. Συνολικά, αυτό το κεφάλαιο θα παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των βασικών εργαλείων και τεχνολογιών που οδηγούν στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση και των επιπτώσεών τους σε πτυχές των επιχειρήσεων που αφορούν την ποιότητα.

## 4.2 Οι βασικές τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0

Η βιομηχανία 4.0, γνωστή και ως τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, είναι η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών όπως η τεχνητή νοημοσύνη, το Διαδίκτυο των πραγμάτων και η προηγμένη ρομποτική στις βιομηχανικές διαδικασίες. Στόχος της Βιομηχανίας 4.0 είναι η δημιουργία "έξυπνων εργοστασίων" που μπορούν να βελτιστοποιήσουν τις διαδικασίες παραγωγής και να βελτιώσουν την αποδοτικότητα, την ποιότητα και την ευελιξία. Σε αυτό το κεφάλαιο θα συζητήσουμε τις κύριες τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 και τις εφαρμογές τους σε διάφορες βιομηχανίες. Σύμφωνα με τους Sisodia και Forero (et al., 2020), η Radziwill (et al., 2018) υποστηρίζει ότι η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση παρείχε επτά εργαλεία και τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της ποιότητας: την στατιστική και την επιστήμη των δεδομένων, τις τεχνολογίες ενεργοποίησης, τα μεγάλα δεδομένα, την τεχνολογία blockchain, την τεχνητή νοημοσύνη, την μηχανική μάθηση και τα νευρωνικά δίκτυα και τη βαθιά μάθηση. Στην Εικόνα 3. απεικονίζονται τα παραπάνω εργαλεία και οι τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0.



Εικόνα 3. Τα εργαλεία και οι τεχνολογίες της Ποιότητας 4.0 (Radziwill et al., 2018)

**Στατιστική και επιστήμη δεδομένων:** Τα εργαλεία της στατιστικής και της επιστήμης των δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αύξηση της αξίας μέσω προβλέψεων, την εύρεση προτύπων και τη δημιουργία βιώσιμων μοντέλων και λύσεων. Με τη χρήση αυτών των εργαλείων, μπορούμε να εντοπίσουμε και να αναλύσουμε μεγάλες ποσότητες δεδομένων που παράγονται από αισθητήρες και άλλα συστήματα παρακολούθησης (Radziwill et al., 2018). Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό μοτίβων, τάσεων και ακραίων τιμών που μπορεί να υποδεικνύουν προβλήματα ποιότητας ή ευκαιρίες βελτίωσης.

**Ενεργοποιητικές τεχνολογίες:** Οι τεχνολογίες αυτές σχετίζονται πάντα με τις τελευταίες εξελίξεις στη συνδεσιμότητα, όπως αισθητήρες, κινητές συσκευές, δίκτυα, Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), βιομηχανικό Διαδίκτυο των πραγμάτων (IIoT), ολοκληρωμένα συστήματα, εικονική πραγματικότητα και υπολογιστικό νέφος (Radziwill et al., 2018). Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο και για την παροχή ορατότητας στην απόδοση του εξοπλισμού και των συστημάτων, γεγονός που μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό και την επίλυση ζητημάτων ποιότητας. Μελέτες όπως του Shaoshuai (et al., 2011), του Shrimali (et al., 2017), του Huckle (et al., 2016) και άλλες, έχουν αποκαλύψει τη σχέση μεταξύ του Διαδικτύου των πραγμάτων και της

Βιομηχανίας 4.0 και τις δυνατότητες του ΔτΠ στη βελτιστοποίηση των συστημάτων παραγωγής, τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας των συστημάτων της Βιομηχανίας 4.0 (Oztemel et al., 2018).

Το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (ΒΔτΠ) έχει τη δυνατότητα να ενσωματώσει τις επιχειρησιακές και πληροφοριακές τεχνολογίες στις σύγχρονες βιομηχανίες (Jagatheesaperumal et al., 2021), δημιουργώντας ένα προηγμένο περιβάλλον συνεργασίας και τροφοδοτώντας τις λειτουργίες διαχείρισης με αυξημένη συνδεσιμότητα σε όλη την αλυσίδα αξίας, από τον προμηθευτή έως τον τελικό πελάτη (Sader et al., 2021). Ωστόσο, με την ενσωμάτωση του ΒΔτΠ προκύπτουν ανησυχίες για την ασφάλεια και είναι ζωτικής σημασίας η εφαρμογή ισχυρών μέτρων κυβερνοασφάλειας για την προστασία από παραβιάσεις δεδομένων και επιθέσεις στον κυβερνοχώρο. Είναι σημαντικό η ανθρώπινη νοημοσύνη και η γνώση να διαδραματίσουν βασικό ρόλο στη βέλτιστη ενσωμάτωση της Βιομηχανίας 4.0 και του ΔτΠ, προκειμένου να επιτευχθούν τα πιο αποδοτικά και ουσιαστικά αποτελέσματα.

**Μεγάλα δεδομένα:** Τα μεγάλα δεδομένα σχετίζονται με την υποδομή για τη διαχείριση και την ανάλυση μεγάλων συνόλων δεδομένων που φθάνουν πολύ γρήγορα, σε διαφορετικές μορφές, με μεγάλη διακύμανση στην ποιότητα των δεδομένων, από διαφορετικούς ενδιαφερόμενους, και θα μπορούσαν να τροποποιηθούν εύκολα, και όταν μπορεί να υπάρχουν περιορισμοί για τη χρήση τους (Sisodia and Forero et al., 2020). Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό των παραλλαγών της διαδικασίας και για τον εντοπισμό της αιτίας των προβλημάτων ποιότητας, γεγονός που μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της συνολικής ποιότητας των προϊόντων και των διαδικασιών. Σύμφωνα με τους Sader κ.ά. (2019), η ανάλυση μεγάλων δεδομένων συγκαταλέγεται στις κορυφαίες θέσεις των τεχνολογικών πλεονεκτημάτων της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης, στα οποία μπορούν να επωφεληθούν οι μεταποιητικές βιομηχανίες όταν υιοθετούν την έννοια της Ποιότητας 4.0 (Maganga et al., 2020).

Η τεχνολογία της Ανάλυσης Μεγάλων Δεδομένων αποτελείται από διάφορα συστατικά, όπως (Russom et al., 2011 σύμφωνα με Αθανασίου et al., 2021):

*Μέθοδοι προηγμένης ανάλυσης*, όπως η προγνωστική ανάλυση, η εξόρυξη δεδομένων και η στατιστική ανάλυση, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή πληροφοριών από τα δεδομένα.

*Τεχνικές οπτικοποίησης*, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την παρουσίαση των ευρημάτων με σαφή και κατανοητό τρόπο. Αυτές οι τεχνικές, γνωστές ως προηγμένη οπτικοποίηση δεδομένων (ADV), μπορούν να χειριστούν πολλαπλούς τύπους δεδομένων και να απεικονίσουν σύνθετες δομές αναλυτικών δεδομένων.

*Συστήματα αποθήκευσης και διαχείρισης*, που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση των δεδομένων. Ο όγκος των δεδομένων που παράγονται μπορεί να φτάσει πολλά petabytes, απαιτώντας ισχυρά συστήματα αποθήκευσης που μπορούν να χειριστούν τα δεδομένα και να ανταποκριθούν με υψηλές ταχύτητες.

**Blockchain:** Η τεχνολογία blockchain μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία απαραβίαστων αρχείων συναλλαγών και για την παροχή ενός ασφαλούς τρόπου διαμοιρασμού δεδομένων μεταξύ πολλαπλών μερών. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να

διασφαλιστεί ότι τα ποιοτικά δεδομένα είναι ακριβή, διαφανή και επαληθεύσιμα (Rodziwill et al., 2018), γεγονός που μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της συνολικής ποιότητας των προϊόντων και των διαδικασιών.

**Τεχνητή νοημοσύνη (TN):** Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη σύνθετων αποφάσεων, όπως η όραση υπολογιστή, τα chatbots και η ρομποτική (Radziwill et al., 2018). Επιπλέον, η TN μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων και για τον εντοπισμό μοτίβων και τάσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της ποιότητας. Η TN μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών και τον εντοπισμό ζητημάτων πριν αυτά γίνουν προβλήματα.

**Μηχανική μάθηση (MM):** Η Μηχανική μάθηση μπορεί να βοηθήσει όταν χρησιμοποιούνται εμπειρικές μέθοδοι για τη λήψη αποφάσεων, καθώς και για την πρόβλεψη, το φιλτράρισμα πληροφοριών και τα συστήματα συστάσεων (Radziwill et al., 2018). Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να εκπαιδευτούν για να εντοπίζουν μοτίβα και τάσεις στα δεδομένα και να κάνουν προβλέψεις με βάση αυτές τις πληροφορίες. Η μηχανική μάθηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση διαδικασιών και για τον εντοπισμό και τη διόρθωση προβλημάτων ποιότητας (Sisodia and Forero et al., 2020).

**Νευρωνικά δίκτυα και βαθιά μάθηση:** Τα νευρωνικά δίκτυα και οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση πολύπλοκων δεδομένων και για τον εντοπισμό μοτίβων και σχέσεων που δεν μπορούν εύκολα να εντοπιστούν με άλλες μεθόδους (Sisodia and Forero et al., 2018). Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων και για τον εντοπισμό ζητημάτων που μπορεί να μην είναι άμεσα εμφανή.

Ο τρόπος με τον οποίο αυτά τα εργαλεία συσχετίζονται μεταξύ τους είναι επίσης σημαντικό να εξεταστεί, ανάλογα με την προσδοκώμενη αξία που θα παραχθεί εάν η ευφυΐα και η αυτοματοποίηση εισαχθούν σε μια διαδικασία (Sisodia and Forero et al., 2020). Ακόμη, είναι απαραίτητη η κατανόηση σε βάθος του κάθε εργαλείου ξεχωριστά, των δυνατοτήτων του και όλων των πτυχών του, ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλη συσχέτιση για να επέλθει προστιθέμενη αξία.

### 4.3 Το έξυπνο εργοστάσιο

Τα έξυπνα συστήματα, όπως τα έξυπνα σπίτια, τα γραφεία και τα αυτοκίνητα, έχουν γίνει όλο και πιο διαδεδομένα στη σημερινή κοινωνία, αλλά το πιο σύνθετο και προηγμένο από αυτά τα συστήματα είναι το έξυπνο εργοστάσιο (Αθανασίου et al., 2021). Ένα έξυπνο εργοστάσιο είναι μια εξαιρετικά ευέλικτη μονάδα παραγωγής που είναι σε θέση να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες και να επιλύει προβλήματα που προκύπτουν από την αυξανόμενη πολυπλοκότητα (Radziwon, Bilberg, Bogers & Madsen et al., 2021). Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση τεχνολογιών όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων, τα μεγάλα δεδομένα και η ανάλυση και το υπολογιστικό νέφος. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση των παραδοσιακών διαδικασιών παραγωγής, μειώνοντας την ανάγκη για ανθρώπινη εργασία και ελαχιστοποιώντας τη σπατάλη πόρων (Radziwon, Bilberg, Bogers & Madsen et al., 2014). Ωστόσο, η επιτυχία ενός έξυπνου εργοστασίου εξαρτάται επίσης από τους ανθρώπους που το σχεδιάζουν, το οργανώνουν και το λειτουργούν μέσα σε αυτό (Zuehlke et al., 2010).

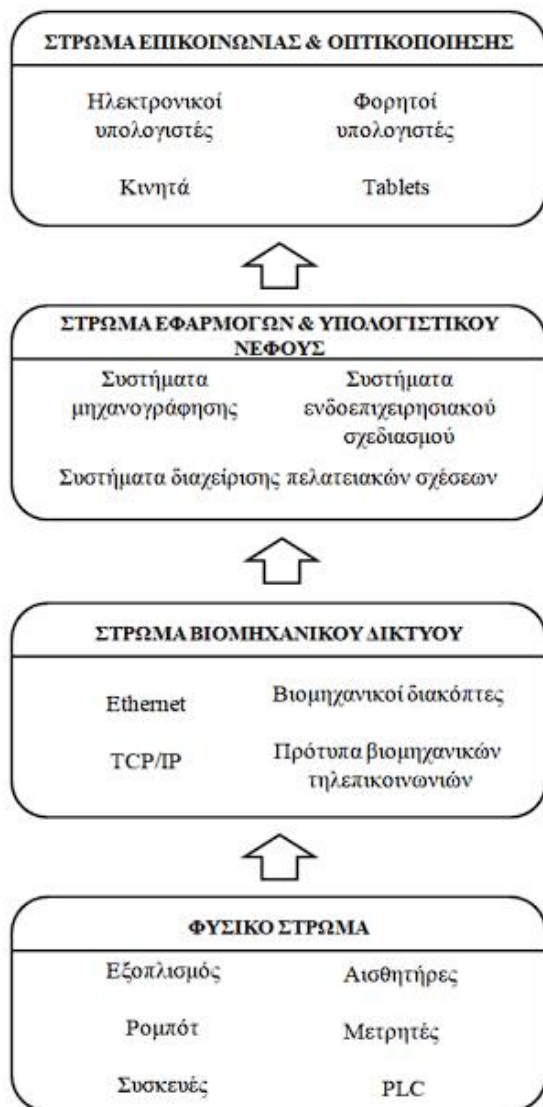
Το έξυπνο εργοστάσιο είναι ένα δυναμικό και αυτοματοποιημένο σύστημα που χρησιμοποιεί δεδομένα που συλλέγονται σε ολόκληρο τον οργανισμό. Μπορεί να αναλυθεί σε τέσσερα βασικά στρώματα (Padhi & Illa et al., 2019, Αθανασίου et al., 2021) τα οποία αναπαρίστανται στην Εικόνα 4. Τα τέσσερα αυτά στρώματα είναι:

**Το φυσικό στρώμα**, το οποίο περιλαμβάνει όλες τις φυσικές οντότητες εντός του εργοστασίου, όπως μηχανές, ρομπότ, αισθητήρες και συστήματα. Αυτά τα φυσικά στοιχεία αποτελούν το θεμέλιο του έξυπνου εργοστασίου και είναι υπεύθυνα για τις διαδικασίες παραγωγής.

**Το στρώμα βιομηχανικού δικτύου**, το οποίο συνδέει τα άλλα τρία στρώματα και διευκολύνει την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ τους. Αυτό το στρώμα διασφαλίζει επίσης την ασφάλεια του συστήματος προστατεύοντας από απειλές στον κυβερνοχώρο.

**Το στρώμα εφαρμογών και υπολογιστικού νέφους**, το οποίο περιέχει επιχειρηματικές εφαρμογές όπως ο σχεδιασμός των επιχειρησιακών πόρων (ERP). Οι εφαρμογές αυτές εγκαθίστανται είτε σε υπολογιστές της εταιρείας είτε στο σύστημα υπολογιστικού νέφους της εταιρείας. Το στρώμα αυτό επιτρέπει την ανάλυση και τη διαχείριση των δεδομένων που συλλέγονται από το εργοστάσιο.

**Το στρώμα επικοινωνίας και οπτικοποίησης**, το οποίο συνδέει τους ανθρώπους με το έξυπνο εργοστάσιο και τους επιτρέπει να παρακολουθούν και να ελέγχουν το εργοστάσιο από απόσταση. Αυτό το στρώμα επιτρέπει την ανθρώπινη εποπτεία και παρέμβαση στις διαδικασίες του εργοστασίου.



Εικόνα 4. Τα στρώματα του έξυπνου εργοστασίου. (Padhi & Illa et al., 2019, από Αθανασίου et al., 2021)

Η εταιρεία SAP (SAP Insights) περιέγραψε τις τρεις κύριες διαδικασίες που συνθέτουν ένα έξυπνο εργοστάσιο, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5. Ένα έξυπνο εργοστάσιο χρησιμοποιεί διάφορες τεχνολογίες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη και το βιομηχανικό διαδίκτυο των πραγμάτων, για τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων με σκοπό τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών και την αυτοματοποίηση των διαδικασιών. Η διαδικασία ξεκινά με τη συλλογή δεδομένων μέσω αισθητήρων και άλλων πηγών, τα οποία στη συνέχεια αναλύονται με τη χρήση μηχανικής μάθησης και άλλων προηγμένων εργαλείων ανάλυσης. Αυτό επιτρέπει τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων, ευκαιριών και τάσεων που μπορούν να ενημερώσουν για τη λήψη αποφάσεων και να βελτιώσουν την απόδοση. Μόλις συγκεντρωθούν και αναλυθούν αυτές οι πληροφορίες, εφαρμόζεται έξυπνη αυτοματοποίηση προκειμένου να εξορθολογιστούν οι ροές εργασίας και να ελαχιστοποιηθούν οι διαταραχές. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την προσαρμογή των προτεραιοτήτων παραγωγής ή την εφαρμογή ρυθμιστών των αποθεμάτων σε ανταπόκριση στις



αλλαγές της ζήτησης ή της προσφοράς. Ουσιαστικά, ένα έξυπνο εργοστάσιο χρησιμοποιεί δεδομένα και τεχνολογία για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και την προσαρμογή στις αλλαγές της αγοράς.



Εικόνα 5. Οι τρεις βασικές διαδικασίες που συνθέτουν ένα έξυπνο εργοστάσιο. ([sap.com/insights/what-is-a-smart-factory.html](http://sap.com/insights/what-is-a-smart-factory.html))

#### 4.4 Τα πλεονεκτήματα της Βιομηχανίας 4.0

Όλες αυτές οι τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 που αναφέρθηκαν προηγουμένως, μπορούν με την αξιοποίηση και την συσχέτιση τους να προσφέρουν τεράστια οφέλη σε όλους τους τομείς μιας επιχείρησης. Σύμφωνα με τις έρευνες των Fonseca (et al., 2021) και Mohamed (et al., 2018) και τις αναφορές τους στην βιβλιογραφία (Wan et al., 2011, O’Rielly et al., 2014, Lasi et al., 2014, Koch et al., 2014, BCG et al., 2015, McKinsey & Company et al., 2015, Oesterreich & Teuteberg et al., 2016, Wang et al., 2016, Kiel et al., 2016, Biagi & Falk et al., 2017, Daki et al., 2017, Uglovskaia et al., 2017, Pereira et al., 2017, Bonilla et al., 2018, Ferreira et al., 2018, Canadasa et al., 2018, De Sousa Jabbour et al., 2018, Waibel et al., 2018, Kayikci et al., 2018, Alcacer & Cruz-Machado et al., 2019, Antonelli et al., 2019, Gunal et al., 2019 και Napolitano et al., 2020) καταλήξαμε στα 5 βασικότερα οφέλη της Βιομηχανίας 4.0 μέσα από το πρίσμα της ποιότητας.

**1. Βελτίωση της επικοινωνίας και διαφάνεια:** Η βιομηχανία 4.0 μπορεί να οδηγήσει σε βελτίωση της επικοινωνίας και παροχή διαφάνειας μέσω της χρήσης προηγμένων τεχνολογιών όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID) και το blockchain. Η δυνατότητα επικοινωνίας και ανταλλαγής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μεταξύ διαφορετικών συστημάτων και συσκευών επιτρέπει πιο αποδοτικές και αποτελεσματικές διαδικασίες παραγωγής και μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένο ποιοτικό έλεγχο. Αυτό μπορεί επίσης να οδηγήσει σε βελτιωμένο συντονισμό και συνεργασία μεταξύ διαφορετικών τμημάτων, όπως της παραγωγή, των logistics και του ποιοτικού ελέγχου, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη λήψη αποφάσεων και αυξημένη αποδοτικότητα. Επιπλέον, η Βιομηχανία 4.0 μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της διαφάνειας παρέχοντας λεπτομερή και ακριβή καταγραφή της διαδρομής ενός προϊόντος μέσω της αλυσίδας εφοδιασμού. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τους οργανισμούς να εντοπίσουν τα σημεία συμφόρησης, να βελτιώσουν τα logistics τους και να μειώσουν το κόστος. Επιτρέπει επίσης τον καλύτερο ποιοτικό έλεγχο, καθώς οι οργανισμοί

μπορούν να παρακολουθούν και να εντοπίζουν το ιστορικό ενός προϊόντος, διασφαλίζοντας ότι πληροί τα απαιτούμενα πρότυπα και προδιαγραφές. Επιπλέον, η βελτίωση της επικοινωνίας και η ύπαρξη διαφάνειας μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε καλύτερη διαχείριση των προμηθευτών, καθώς οι οργανισμοί μπορούν να επικοινωνούν με τους προμηθευτές σε πραγματικό χρόνο και να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τις επιδόσεις των προμηθευτών. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τους οργανισμούς να εντοπίσουν και να διορθώσουν προβλήματα με τους προμηθευτές και να βελτιώσουν τη συνολική ποιότητα των προϊόντων και των υπηρεσιών τους.

**2. Μειωμένη σπατάλη και μείωση του αριθμού των λαθών:** Οι τεχνολογίες και τα εργαλεία της βιομηχανίας 4.0 επιτρέπουν την παρακολούθηση και τον έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο και τη χρήση οδηγιών στην εργασία με βάση τις δεξιότητες και τις ικανότητες, επιτυγχάνοντας τον έγκαιρο εντοπισμό προβλημάτων και την προληπτική προσαρμογή, συμβάλλοντας στην μείωση των λαθών που γίνονται στη φάση παραγωγής. Όλα αυτά ε, μπορεί να οδηγήσουν σε μείωση της σπατάλης, να συμβάλουν στην περιβαλλοντική διάσταση των υφιστάμενων μονάδων παραγωγής και στην βελτίωση του ποιοτικού ελέγχου και την αύξηση της αποδοτικότητας.

**3. Βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων, της αξιοπιστίας και της ευελιξία στον προγραμματισμό και την εκτέλεση:** Η βιομηχανία 4.0 επιτρέπει τη χρήση προηγμένων αναλύσεων, μεγάλων δεδομένων και προσομοίωσης για τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων, της αξιοπιστίας και της ευελιξίας στον προγραμματισμό και την εκτέλεση. Αυτό επιτρέπει την αποτελεσματικότερη παραγωγή και την καλύτερη ανταπόκριση στις αλλαγές της ζήτησης.

**4. Βελτίωση της προσαρμογής και της εμπειρίας του πελάτη:** Η βιομηχανία 4.0 επιτρέπει την εξατομίκευση των προϊόντων ώστε να ανταποκρίνονται στις συγκεκριμένες απαιτήσεις των πελατών μέσω της χρήσης προηγμένων τεχνολογιών όπως το IoT, η τεχνητή νοημοσύνη και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων. Αυτό οδηγεί σε αύξηση της ικανοποίησης των πελατών, καθώς ικανοποιούνται οι συγκεκριμένες ανάγκες και προτιμήσεις τους. Επιπλέον, μπορεί επίσης να επιτρέψει την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των ανατροφοδοτήσεων και των προτιμήσεων των πελατών, επιτρέποντας την ταχεία προσαρμογή των προϊόντων και των υπηρεσιών ώστε να ανταποκρίνονται στις μεταβαλλόμενες ανάγκες των πελατών. Επιπλέον, η Βιομηχανία 4.0 μπορεί να επιτρέψει νέα επιχειρηματικά μοντέλα που επιτρέπουν πιο ευέλικτες αλυσίδες αξίας, αυξάνοντας την ανταγωνιστικότητα μέσω της εξάλειψης των φραγμών μεταξύ πληροφοριών και φυσικών δομών. Αυτό οδηγεί σε συνολική βελτίωση της εμπειρίας του πελάτη, καθώς οι πελάτες λαμβάνουν προϊόντα που είναι προσαρμοσμένα στις συγκεκριμένες ανάγκες και προτιμήσεις τους και μπορούν να αναμένουν πιο ευέλικτες και αποτελεσματικές υπηρεσίες.

**5. Ασφαλέστερες συνθήκες εργασίας:** Η χρήση της αυτοματοποίησης και της ρομποτικής μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του αριθμού των χειρωνακτικών εργασιών που πρέπει να εκτελούνται από τους εργαζόμενους, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο τραυματισμών και ατυχημάτων. Οι προηγμένες τεχνολογίες μπορούν επίσης να συμβάλουν στη βελτίωση της εργονομίας του χώρου εργασίας, μειώνοντας τη σωματική καταπόνηση που σχετίζεται με την εργασία με τη χρήση εξωσκελετών, συσκευών τοποθέτησης, ρομπότ ή την αυτοματοποίηση μονότονων εργασιών. Επιπλέον, η

Βιομηχανία 4.0 επιτρέπει τη χρήση τεχνολογιών εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας για την εκπαίδευση των εργαζομένων και την προσομοίωση επικίνδυνων ή πολύπλοκων εργασιών, μειώνοντας τον κίνδυνο ατυχημάτων κατά την εκπαίδευση στο χώρο εργασίας. Συνολικά, η Βιομηχανία 4.0 μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του αριθμού των ατυχημάτων, των τραυματισμών και άλλων κινδύνων στο χώρο εργασίας, οδηγώντας σε βελτιωμένη ασφάλεια των εργαζομένων και συνολικά σε καλύτερες και ποιοτικότερες συνθήκες εργασίας.

## 5. Η επίδραση της Βιομηχανίας 4.0 στη Διαχείριση Ποιότητας και την Επιχειρηματική Αριστεία

### 5.1 Η επίδραση της Βιομηχανίας 4.0 στις βασικές αρχές της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας

Σύμφωνα με το εκδοθέν (ISO 9001:2015, 2015), η Διαχείριση ποιότητας αποτελείται από επτά αρχές, οι οποίες είναι: εστίαση στον πελάτη, ηγεσία, δέσμευση των ανθρώπων, προσέγγιση των διαδικασιών, βελτίωση, λήψη αποφάσεων βάσει στοιχείων και διαχείριση των σχέσεων. Οι αρχές αυτές προορίζονται να καθοδηγήσουν τους οργανισμούς στην εφαρμογή και τη διατήρηση ενός συστήματος διαχείρισης της ποιότητας. Οι αρχές αυτές μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

Εστίαση στον πελάτη, η οποία δίνει προτεραιότητα στην ικανοποίηση των απαιτήσεων του πελάτη και στην προσπάθεια να υπερβεί τις προσδοκίες του.

Ηγεσία, η οποία είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της ευθυγράμμισης των οργανωτικών στόχων με τις ανάγκες και τις προσδοκίες των πελατών.

Δέσμευση του προσωπικού, η οποία περιλαμβάνει την ενδυνάμωση, την αναγνώριση και την υποστήριξη της ανάπτυξης του προσωπικού για τη βελτίωση των οργανωτικών επιδόσεων και την προώθηση ενός θετικού εργασιακού περιβάλλοντος.

Προσέγγιση των διαδικασιών, η οποία δίνει έμφαση στην ανάγκη κατανόησης, διαχείρισης και συντονισμού των διαδικασιών του οργανισμού για την επίτευξη των στόχων ποιότητας.

Βελτίωση, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για τους οργανισμούς να διατηρούν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και να βελτιώνουν συνεχώς τις διαδικασίες και τα προϊόντα τους.

Λήψη αποφάσεων με βάση τα αποδεικτικά στοιχεία, η οποία απαιτεί από τους οργανισμούς να λαμβάνουν αποφάσεις με βάση ακριβείς, αξιόπιστες και διαφανείς πληροφορίες.

Διαχείριση σχέσεων, η οποία περιλαμβάνει τον εντοπισμό και τη διαχείριση των σχέσεων με τα ενδιαφερόμενα μέρη για την ενίσχυση της παραγωγής, της προμήθειας και των υπηρεσιών του οργανισμού.

Ο Sader (et al., 2019), ανέλυσε τις παραπάνω αρχές και κατέγραψε τον τρόπο με τον οποίο η Βιομηχανία 4.0 μπορεί να εξυπηρετήσει την επιτυχή εφαρμογή των επτά αρχών της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας με τα ακόλουθα μέσα:

**Εστίαση στον πελάτη:** Η Βιομηχανία 4.0 επιτρέπει στους οργανισμούς να ενισχύσουν την ικανοποίηση των πελατών μέσω της ανάπτυξης πιο εξατομικευμένων προϊόντων και υπηρεσιών που ανταποκρίνονται και υπερβαίνουν τις ανάγκες και τις προσδοκίες των πελατών. Με τη Βιομηχανία 4.0, οι βιομηχανίες μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν στην παραγωγή εξατομικευμένων αντικειμένων αντί να βασίζονται σε συστήματα παραγωγής μεγάλης κλίμακας. Επιπλέον, η Βιομηχανία 4.0 προσφέρει στις επιχειρήσεις τη δυνατότητα να προβλέπουν τη

συμπεριφορά και τις τάσεις των καταναλωτών, αποκτώντας με αυτόν τον τρόπο στρατηγικό πλεονέκτημα, επιτρέποντάς τους να προσφέρουν τα κατάλληλα προϊόντα στις πιο κατάλληλες χρονικές στιγμές.

**Ηγεσία:** Η Βιομηχανία 4.0 έχει σημαντικό αντίκτυπο στον τρόπο ροής των πληροφοριών κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, ολοκληρώνοντας τις επιχειρηματικές διαδικασίες και αξιοποιώντας τα συστήματα ERP για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης της παραγωγής, όπως αποδεικνύεται από έρευνα (Lee, Kao, & Yang, 2014). Με τη διαφάνεια των παραγωγικών διαδικασιών που παρέχει η Βιομηχανία 4.0, η ευθυγράμμιση πόρων, όπως η εργασία και ο εξοπλισμός, με τη ζήτηση γίνεται πιο αποτελεσματική και εξορθολογισμένη.

**Δέσμευση των ανθρώπων:** Η Βιομηχανία 4.0 προωθεί την επικοινωνία και τη συνεργασία σε όλα τα επίπεδα ενός οργανισμού, ενισχύοντας την καινοτομία και δίνοντας τη δυνατότητα στα άτομα να συνεισφέρουν. Παρέχοντας πρόσβαση σε δεδομένα, η Βιομηχανία 4.0 επιτρέπει στα άτομα με τις ανάλογες αρμοδιότητες να εντοπίζουν και να μετριάζουν προληπτικά τους κινδύνους και να αναπτύσσουν λύσεις.

**Προσέγγιση διαδικασίας:** Η Βιομηχανία 4.0 διευκολύνει τη διαφάνεια των επιχειρηματικών και παραγωγικών διαδικασιών του οργανισμού, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση και την αποτελεσματική κατανομή των πόρων. Εντοπίζοντας περιοχές αναποτελεσματικότητας και πηγές ελαττωμάτων, η Βιομηχανία 4.0 συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής και στη βελτίωση της ανταπόκρισης της αλυσίδας εφοδιασμού, αξιοποιώντας την συνολική ολοκλήρωση, από την αρχική ζήτηση μέχρι τον προμηθευτή (Wang, He, & Xu, 2017). Η Βιομηχανία 4.0 παρέχει ακριβείς πληροφορίες σχετικά με τις διαδικασίες, συμπεριλαμβανομένων του χρόνου, των κινδύνων, των πόρων και των κρίσιμων περιορισμών, οι οποίες βοηθούν στη διατήρηση της συνέχειας και της αποτελεσματικότητας στον προγραμματισμό των βασικών διαδικασιών.

**Βελτίωση:** Η βιομηχανία 4.0 επιτρέπει στους οργανισμούς να πραγματοποιούν συνεχείς βελτιώσεις στα προϊόντα, τις διαδικασίες και τη συνολική επιχείρηση. Μια πλήρως συνδεδεμένη αλυσίδα παραγωγής και εφοδιασμού βελτιώνει την αποδοτικότητα και την προσαρμοστικότητα του συστήματος. Μελέτες έχουν δείξει ότι η Βιομηχανία 4.0 επιτρέπει στα προϊόντα, όπως για παράδειγμα στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας, να μεταδίδουν πληροφορίες στους κατασκευαστές σχετικά με λειτουργικά ζητήματα, βελτιώνοντας έτσι τα μελλοντικά προϊόντα για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων.

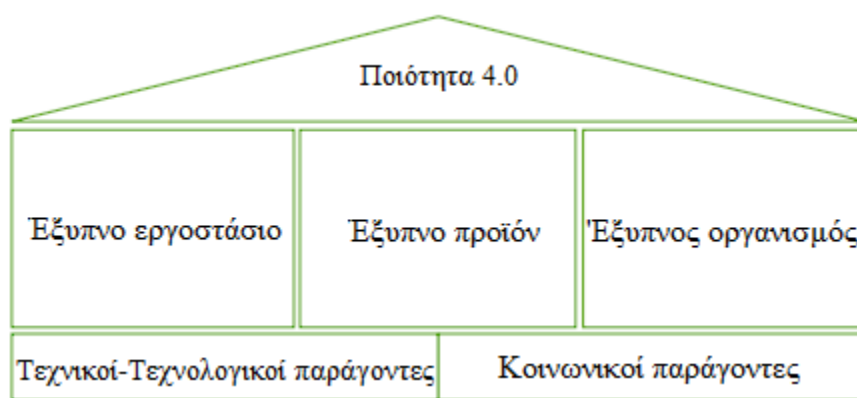
**Λήψη αποφάσεων βάσει στοιχείων:** Η Βιομηχανία 4.0 και οι νέες τεχνολογίες πληροφορικής, όπως τα μεγάλα δεδομένα, βελτιώνουν σημαντικά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Με τις μηχανές να μαθαίνουν και να επικοινωνούν μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα συνεργατικό δίκτυο, τα δεδομένα μπορούν να συλλέγονται και να αναλύονται, επιτρέποντας την πιο αυτόνομη λήψη αποφάσεων. Μελέτες έχουν δείξει ότι οι τεχνικές της Βιομηχανίας 4.0, όπως οι πρόωρες προβλέψεις σχετικά με την υγεία των μηχανών, μπορούν να μειώσουν τον χρόνο της διακοπής της λειτουργίας τους και να προωθήσουν την προληπτική συντήρησή τους.

**Διαχείριση σχέσεων:** Η Βιομηχανία 4.0 διευκολύνει την πλήρη ενσωμάτωση και επικοινωνία μεταξύ όλων των ενδιαφερόμενων μελών ενός οργανισμού, οδηγώντας σε βελτιωμένη διαχείριση των σχέσεων. Με τους προμηθευτές συνδεδεμένους με τα συστήματα παραγωγής, είναι σε θέση

να κατανοήσουν καλύτερα τις ανάγκες του οργανισμού και να ανταποκριθούν αποτελεσματικότερα στις απαιτήσεις της αγοράς.

## 5.2 Οι βασικοί πυλώνες της Ποιότητας 4.0

Οι V. Nguyen, Tuček & H. Nguyen (et al., 2022) βασισμένοι σε όλες αυτές τις αρχές της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας, αλλά και στο δικό τους θεωρητικό πλαίσιο της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας στην Βιομηχανία 4.0, παράθεσαν τους πέντε βασικούς πυλώνες της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας στα πλαίσια της Βιομηχανίας 4.0, στο δικό τους «Σπίτι της Ποιότητας 4.0» όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6. Παρατηρούμε, ότι υπάρχουν δυο θεμελιώδεις πυλώνες, οι Κοινωνικοί παράγοντες και οι Τεχνικοί-Τεχνολογικοί παράγοντες, πάνω στους οποίους «στηρίζονται» οι άλλοι τρεις πυλώνες, το Έξυπνο εργοστάσιο, το Έξυπνο προϊόν και ο Έξυπνος οργανισμός.



Εικόνα 6. "Το σπίτι της Ποιότητας 4.0". (μετάφραση από "The main pillars of Quality 4.0." (V. Nguyen, Tuček, H. Nguyen et al., 2022))

**Τεχνικοί-Τεχνολογικοί παράγοντες:** είναι η ενσωμάτωση μεταξύ των τεχνολογιών και εργαλείων της Βιομηχανίας 4.0 και των τεχνικών και πρακτικών της τυπικής Διοίκησης Ολικής Ποιότητας, όπως η ανάπτυξη λειτουργιών ποιότητας, η ανάλυση τρόπου και αποτελέσματος αποτυχίας, ο στατιστικός έλεγχος διαδικασιών. Τα εργαλεία και οι τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 περιλαμβάνουν την τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση, το υπολογιστικό νέφος μεγάλων δεδομένων, τα αυτόνομα ρομπότ, το διαδίκτυο των πραγμάτων, το κυβερνο-φυσικό σύστημα (V. Nguyen, Tuček & H. Nguyen et al., 2022).

Οι **Κοινωνικοί παράγοντες** περιλαμβάνουν τα άτομα εντός ενός οργανισμού και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Αυτό περιλαμβάνει τη διαχείριση του διανοητικού κεφαλαίου (ICM), τη χρήση της κοινωνικής δικτύωσης για επικοινωνία και συνεργασία και την προώθηση μιας νοοτροπίας που ενθαρρύνει την κριτική σκέψη μεταξύ των ατόμων. Επιπλέον, περιλαμβάνει την προώθηση της δέσμευσης και της ηγεσίας, παρόμοια με την παραδοσιακή ΔΟΠ, αλλά δίνει επίσης έμφαση στην ανοικτή επικοινωνία μεταξύ των εργαζομένων και της διοίκησης, όπως η ανταλλαγή πληροφοριών και η αμφίδρομη ροή επικοινωνίας (V. Nguyen, Tuček & H. Nguyen et al., 2022).

**Έξυπνος οργανισμός:** Ένας έξυπνος οργανισμός είναι αυτός που αξιοποιεί την τεχνολογία, τα δεδομένα και τις προηγμένες αναλύσεις για τη βελτίωση της λήψης αποφάσεων, τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών και τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης. Σε έναν έξυπνο οργανισμό, τα δεδομένα συλλέγονται και αναλύονται σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την πιο τεκμηριωμένη και αποτελεσματική λήψη αποφάσεων. Η αυτοματοποίηση και η προηγμένη ανάλυση χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών και τη βελτίωση της αποδοτικότητας, ενώ η επικοινωνία και η συνεργασία ενισχύονται μέσω της χρήσης ψηφιακών εργαλείων. Οι έξυπνοι οργανισμοί έχουν επίσης μια κουλτούρα που εκτιμά τη συνεχή βελτίωση και μάθηση, η οποία προωθείται με την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και γνώσεων που βασίζονται σε δεδομένα. Επιπλέον, οι Έξυπνοι Οργανισμοί είναι σε θέση να προσαρμόζονται στις αλλαγές του περιβάλλοντος και διαθέτουν μια λιτή οργανωτική δομή που τους επιτρέπει να ανταποκρίνονται γρήγορα στις απαιτήσεις της αγοράς. Ωστόσο, με τα ισχυρά εργαλεία της Βιομηχανίας 4.0, το μοντέλο αυτό μπορεί να διευκολύνει τη συνεργασία μεταξύ όλων των ενδιαφερομένων μελών τακτικά και αποτελεσματικά. Ειδικότερα, οι V. Nguyen, Tuček και H. Nguyen πιστεύουν ότι «οι εμπειρογνώμονες ποιότητας και οι επιστήμονες δεδομένων θα συγχωνευθούν σε ένα επάγγελμα, τον "επιστήμονα δεδομένων και ποιότητας"».

**Έξυπνο εργοστάσιο:** Ο στόχος ενός έξυπνου εργοστασίου είναι η επίτευξη υψηλού επιπέδου ευελιξίας, προσαρμοστικότητας και ελέγχου. Αυτό επιτυγχάνεται με τη σύνδεση μηχανών, συστημάτων και ανθρώπων μεταξύ τους και με το κεντρικό σύστημα ελέγχου. Αυτό επιτρέπει την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διαδικασιών παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την ταχύτερη λήψη αποφάσεων και μειώνοντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και τα απόβλητα. Επιπλέον, η χρήση προηγμένων αναλύσεων και μηχανικής μάθησης μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα των προϊόντων και να προβλέψει τις ανάγκες συντήρησης (V. Nguyen, Tuček & H. Nguyen et al., 2022).

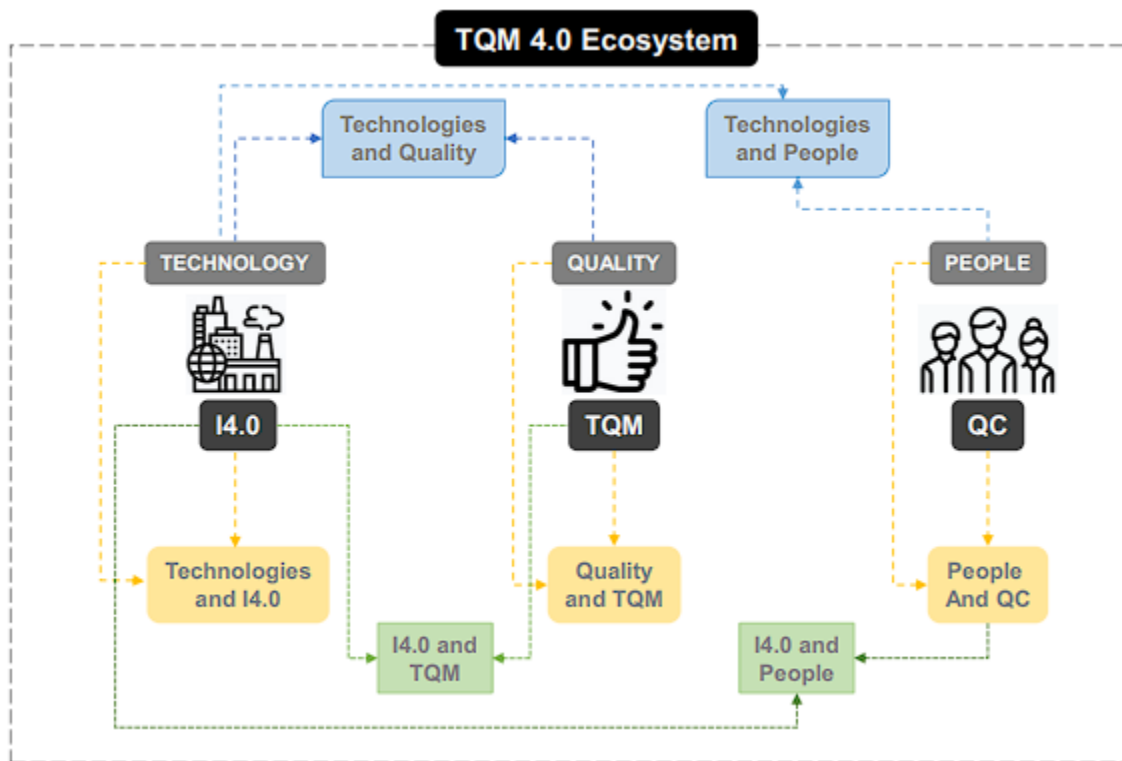
**Έξυπνο προϊόν:** Η Ποιότητα 4.0, χρησιμοποιώντας τεχνολογία αιχμής και προηγμένους υπολογισμούς, εξασφαλίζει τη μέγιστη ποιότητα και ασφάλεια σε όλες τις πτυχές των προϊόντων και των υπηρεσιών (V. Nguyen, Tuček & H. Nguyen et al., 2022). Ένα έξυπνο προϊόν είναι ένα προϊόν που είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες, τεχνολογία επικοινωνίας και άλλα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που του επιτρέπουν να συλλέγει δεδομένα και να επικοινωνεί με άλλα συστήματα. Τα έξυπνα προϊόντα συνδέονται στο διαδίκτυο, γεγονός που επιτρέπει την παρακολούθηση, τον εντοπισμό και τον τηλεχειρισμό σε πραγματικό χρόνο. Τα προϊόντα αυτά έχουν τη δυνατότητα αυτοδιάγνωσης και ακόμη και αυτοθεραπείας, πράγμα που σημαίνει ότι το προϊόν μπορεί να ανιχνεύσει και να επιδιορθώσει προβλήματα χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τα έξυπνα προϊόντα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση του σχεδιασμού του προϊόντος, την πρόβλεψη του πότε απαιτείται συντήρηση και την εξατομίκευση του προϊόντος με βάση τις προτιμήσεις του πελάτη.

Παρατηρούμε ότι το μοντέλο των συγγραφέων στοχεύει στην εξασφάλιση της μέγιστης δυνατής ποιότητας και ασφάλειας, στην επίτευξη υψηλού επιπέδου ευελιξίας, προσαρμοστικότητας και ελέγχου, επιδιώκοντας επίσης τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών και τη βελτίωση της λήψης αποφάσεων και της συνολικής απόδοσης μιας επιχείρησης. Τίποτα όμως από αυτά δεν θα μπορέσει να καταστεί δυνατό για τους οργανισμούς που δεν ενσωματώνουν

κατάλληλα τις τεχνολογίες και τα εργαλεία της Βιομηχανίας 4.0 με τις τεχνικές και τις πρακτικές της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας, αλλά και για όσους δεν υπάρχει ξεκάθαρος στόχο και διαφάνεια σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας τους.

### 5.3 Το Οικοσύστημα της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας 4.0.

Οι Souza, Corsi και Pagani (et al., 2021), στην προσπάθεια τους να μελετήσουν την προσαρμογή της Διαχείρισης Ποιότητας στην Βιομηχανία 4.0, όρισαν ένα δικό τους οικοσύστημα, το Οικοσύστημα της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας 4.0. Προκειμένου στην εποχή της Βιομηχανίας 4.0 να μπορέσουν να ενσωματωθούν αποτελεσματικά οι άνθρωποι και να αποκεντροποιηθεί η διαχείριση της ποιότητας, είναι ζωτικής σημασίας να κατανοήσουμε πλήρως τα στοιχεία αυτού του εξελισσόμενου οικοσυστήματος, καθώς και την έννοια της Διαχείρισης Ολικής Ποιότητας 4.0. Διατηρώντας την εστίαση στην ποιότητα σε αυτό το πλαίσιο, η ΔΟΠ 4.0 χρησιμεύει ως σημείο εκκίνησης για αυτή τη νέα φάση της διαχείρισης ποιότητας στην εποχή της Βιομηχανίας 4.0, δημιουργώντας ένα οικοσύστημα που φέρνει σε επαφή την τεχνολογία, την ποιότητα και τους ανθρώπους. Τα τρία κύρια συστατικά στοιχεία του οικοσυστήματος της ΔΟΠ 4.0 είναι η Βιομηχανία 4.0, η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας και η Κουλτούρα Ποιότητας. Κάθε μία από αυτές τις έννοιες αντιπροσωπεύει ένα υποστοιχείο, το οποίο περιλαμβάνει την τεχνολογία, την ποιότητα και τους ανθρώπους αντίστοιχα. Το Οικοσύστημα της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας 4.0 αναπαρίσταται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7. Το Οικοσύστημα της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας 4.0 (Souza, Corsi & Pagani et al., 2021).



- 1) **Βιομηχανία 4.0 και τεχνολογία:** όπως αναφέρθηκε αρκετές φορές στην παρούσα εργασία, τα εργαλεία και οι διάφορες καινοτομίες στις τεχνολογίες είναι τα από τα κυριότερα ζητήματα της Βιομηχανίας 4.0.
- 2) **Διοίκηση Ολικής Ποιότητας και ποιότητα:** όταν αναφερόμαστε στην ΔΟΠ, είναι αναπόφευκτο να μην υπογραμμίσουμε την έννοια της ποιότητας, καθώς αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο της. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι η σύνδεση αυτή της ποιότητας με την ΔΟΠ, προκαλεί την εμφάνιση πολλών φιλοσοφιών και τεχνικών διαχείρισης, επικεντρωμένων στην ποιότητα, όπου η συμμετοχή του ανθρώπου στην διαδικασία είναι αναγκαία.
- 3) **Κουλτούρα Ποιότητας και άνθρωποι:** με τον όρο κουλτούρα, αναφερόμαστε στην παράδοση ή την συνήθεια που υιοθετείται από μια ομάδα ανθρώπων (Cambridge Dictionary, et al., 2020), όταν όμως εισάγεται και η έννοια της ποιότητας, τότε αναφερόμαστε στο πως οι άνθρωποι αντιμετωπίζουν και συμβαδίζουν με την ποιότητα.

Για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική λειτουργία του οικοσυστήματος της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας 4.0, είναι σημαντικό τα διάφορα στοιχεία και υποστοιχεία να συνεργάζονται για την προώθηση της συνεργασίας, της ολοκλήρωσης και της διασυνδεσιμότητας. Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει να αναληφθούν οι ακόλουθες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των υποστοιχείων:

*-Τεχνολογία και ποιότητα:* Μια βασική πτυχή της Βιομηχανίας 4.0 είναι η δυνατότητα δημιουργίας αξίας μέσω της χρήσης ποιοτικών μεγάλων δεδομένων (Chiarini, et al., 2020). Η χρήση πλατφορμών ανάλυσης και οπτικοποίησης δεδομένων μπορεί να βοηθήσει στην αποκέντρωση της διαχείρισης της ποιότητας, επιτρέποντας την εύκολη παρακολούθηση των δεικτών ποιότητας.

*-Τεχνολογία και άνθρωποι:* Η διασταύρωση αυτών των δύο επιμέρους τομέων είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική ενσωμάτωση. Όπως σημείωσε ο Bagozi (et al., 2019), η ανάλυση δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί πιο αποτελεσματικά όταν συνδυάζεται με ανθρώπινες οπτικές και εμπειρίες. Επιπλέον, οι αποφάσεις γίνονται πιο εύκολα αποδεκτές όταν προέρχονται από μια ανθρώπινη πηγή. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, καθώς οι τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 συνεχίζουν να εξελίσσονται, είναι απαραίτητο τα άτομα να προσαρμόζουν τις δεξιότητες και τις ικανότητές τους αναλόγως, όπως υπογραμμίζει ο Babatunde (2020).

Οι παραπάνω αλληλεπιδράσεις ωστόσο, αποτελούν το εναρκτήριο βήμα για την δημιουργία και την επιβίωση της έννοιας της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας 4.0. Για τον λόγο αυτό, απαιτούνται περαιτέρω αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων και των υποστοιχείων για να μπορέσει να αυξηθεί και να ολοκληρωθεί το οικοσύστημα. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές, μπορούν να οδηγήσουν σε αλληλοσυμπλήρωση των στοιχείων και των υποστοιχείων και στην ενεργή συμμετοχή τους στο οικοσύστημα. Όπως αναφέρεται παρακάτω:

**•Βιομηχανία 4.0 και Κουλτούρα Ποιότητας:** η εισαγωγή των ρομπότ και η αυτοματοποίηση επαναλαμβανόμενων διαδικασιών, μπορεί να αποφέρουν οφέλη τόσο στη σωματική όσο και στην ψυχική ευεξία των εργαζομένων. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της εργονομίας, της ποιότητας της εργασίας, της παρακίνησης και της αποδοχής των νέων τεχνολογιών από άτομα που τις βλέπουν ως συμπλήρωμα της εργασίας τους και όχι ως

αντικατάσταση. Καθώς η Κουλτούρα Ποιότητας αποτελεί κρίσιμο συστατικό της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας (ΔΟΠ), η ενσωμάτωση αυτή μπορεί να οδηγήσει σε μια πιο φυσική ενσωμάτωση μεταξύ ποιότητας και ανθρώπων, επιτρέποντας μεγαλύτερη αποδοχή των αλλαγών και των καινοτομιών στη Βιομηχανία 4.0, καθώς ο φόβος μειώνεται σε ένα ισορροπημένο περιβάλλον (Bugdol, 2020).

**•Βιομηχανία 4.0 και Διοίκηση Ολικής Ποιότητας:** Η ενοποίηση της Βιομηχανίας 4.0 και της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας (ΔΟΠ) μπορεί να αποφέρει οφέλη στην παρακολούθηση των δεδομένων ποιότητας μέσω τεχνολογικών πλατφορμών οπτικοποίησης δεδομένων, οι οποίες επιτρέπουν την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και τη διατήρηση των προτύπων ποιότητας σε όλους τους κλάδους του ίδιου οργανισμού. Αυτή η ενσωμάτωση μπορεί να οδηγήσει στην εφαρμογή της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας 4.0 σε οργανισμούς που δίνουν προτεραιότητα στην πρόοδο της τεχνολογίας για την καλύτερη διαχείριση της ποιότητας.

Το οικοσύστημα TQM 4.0 αναδεικνύει τη διασύνδεση αυτών των τριών οντοτήτων, με κοινή εστίαση στη σημασία των ανθρώπων στη διαδικασία και στην ικανότητα ανάλυσης δεδομένων για την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με την ποιότητα. Η κατανόηση αυτή υπογραμμίζει τη σημασία της ευθυγράμμισης και της εξέλιξης αυτών των στοιχείων και των υποστοιχείων με τον ίδιο ρυθμό, ώστε να προωθείται η ολοκλήρωση σε διάφορους τομείς και οργανισμούς. Με αυτή την προσέγγιση, είναι δυνατή η υιοθέτηση τεχνολογικών καινοτομιών στη Βιομηχανία 4.0, δίνοντας παράλληλα προτεραιότητα στην ποιότητα και την ενεργό συμμετοχή των εμπλεκόμενων ατόμων (Souza, Corsi & Pagani et al., 2021).

Χωρίς την ολοκληρωτική δέσμευση όλων των εμπλεκόμενων στην αλυσίδα αξίας, δεν είναι δυνατή η υλοποίηση και εφαρμογή αυτού του οικοσυστήματος. Απαιτείται πλήρης κατανόηση αυτού από την ανώτατη διοίκηση, η οποία στη συνέχεια είναι υπεύθυνη να ξεκαθαρίσει τους στόχους, τις μεθοδολογίες και τις διαδικασίες στους εργαζόμενους του οργανισμού για να επιτευχθεί η κοινή πλεύση προς την Διοίκηση Ολικής Ποιότητας 4.0.

## 5.4 Λιτά εργαλεία και φιλοσοφίες στη Βιομηχανία 4.0

Σήμερα, υπάρχουν διάφορες έννοιες και εργαλεία για τη διαχείριση των λειτουργιών που έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο βιομηχανικό περιβάλλον, όπως η λιτή και ευέλικτη παραγωγή, η βιωσιμότητα, τα έξι σίγμα, η αναδιοργάνωση επιχειρηματικών διαδικασιών (BPR) και άλλα εργαλεία πολλαπλών χρήσεων. Η ενσωμάτωση αυτών των εννοιών διαχείρισης με τη Βιομηχανία 4.0 τους επέτρεψε να επωφεληθούν από την ψηφιοποίηση και τις νέες τεχνολογίες. Η λιτή παραγωγή και το Lean Six Sigma αποτελούν παραδείγματα αυτού, καθώς βελτίωσαν τα εργαλεία τους και εφάρμοσαν νέες τεχνολογίες στις πρακτικές τους (Rifqi, Zamma, Souda & Hansali et al., 2021).

Όσον αφορά την αξιοποίηση της τεχνολογίας, η ενσωμάτωση των Λιτών εργαλείων με την Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων, την εικονική προσομοίωση, το Cloud και την επαυξημένη πραγματικότητα έχουν ψηφιοποιήσει και βελτιώσει την έννοια Just in Time σε Just in Time 4.0

(JIT 4.0) και αυτό ισχύει για τα Kaizen 4.0, Kanban 4.0, Poka-Yoke 4.0, τη Χαρτογράφηση του Ρεύματος Αξίας 4.0 (Value Stream Mapping 4.0) και την Ολική Παραγωγική Συντήρηση 4.0 (Total Productive Maintenance 4.0) (Valamade & Akkari et al., 2020). Τα εργαλεία αυτά έχουν τη δυνατότητα να είναι συνδεδεμένα, ευφυή και εύκολα στην εφαρμογή. Επιπλέον, η Βιομηχανία 4.0 προσφέρει νέες τεχνικές και εργαλεία που μπορούν να αποτελέσουν λύσεις σε Λιτά πρότζεκτς και μπορούν να υποστηρίξουν τη σταθεροποίηση και την εφαρμογή των αρχών της (Satoglu, Ustundag, Cevikcan & Durmusoglou et al., 2018, Shahin, Chen, Bouzary & Krishnaiyer et al., 2020). Επιτρέπουν επίσης τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σε όλη την αλυσίδα αξίας και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων επιτρέπει την τροφοδότηση διαφορετικών διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο μέσω της αξιοποίησης γνωστικών αλγορίθμων (Arcidiacono & Pieroni et al., 2018).

**Just-In-Time 4.0:** Το Just-In-Time (JIT) είναι ένα σύστημα παραγωγής και ελέγχου αποθεμάτων που αποσκοπεί στην παραγωγή προϊόντων στη σωστή ποσότητα, στο σωστό χρόνο, με τη σωστή ποιότητα, στη σωστή θέση και με το σωστό κόστος παραγωγής, χωρίς την ανάγκη δημιουργίας αποθέματος προϊόντων. Η Βιομηχανία 4.0, γνωστή και ως τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, είναι ένας συνδυασμός προηγμένων τεχνολογιών όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, τα αυτοματοποιημένα οδηγούμενα οχήματα, η προσθετική κατασκευή και η επαυξημένη πραγματικότητα που μπορούν να συμβάλουν στην αποτελεσματικότερη επίτευξη των στόχων του JIT.

Το νέφος, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, τα αυτοματοποιημένα κατευθυνόμενα οχήματα, η πρόσθετη κατασκευή και η επαυξημένη πραγματικότητα είναι βασικές τεχνολογίες που μπορούν να συμβάλουν στην επίτευξη των στόχων του JIT. Το υπολογιστικό νέφος λαμβάνει δεδομένα της αλυσίδας εφοδιασμού σε πραγματικό χρόνο και τα μοιράζεται με την ανάλυση μεγάλων δεδομένων για καλύτερη διαχείριση. Οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής επιτρέπουν την παραγωγή μικρών παρτίδων με λιγότερες πρώτες ύλες και λιγότερο χρόνο επεξεργασίας (Valamede et al., 2020). Τα αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα ελαχιστοποιούν τα ανθρώπινα λάθη και τις περιττές μετακινήσεις (Mayr et al., 2018). Οι τεχνικές ανάλυσης μεγάλων δεδομένων βοηθούν στον εντοπισμό τάσεων και στην εξαγωγή κανόνων για το σύστημα, συμβάλλοντας στην καλύτερη απόδοση ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι τεχνολογίες αυτές παρέχουν επίσης ευελιξία και ολοκλήρωση της αλυσίδας εφοδιασμού μεταξύ διαδικασιών, συσκευών και ενδιαφερομένων και επιτρέπουν τη συλλογή, ανάλυση και ερμηνεία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, γεγονός που οδηγεί σε καλύτερη διαχείριση και λήψη αποφάσεων (Valamede et al., 2020).

**Kanban 4.0:** Το Kanban είναι ένα σύστημα παραγωγής που εξυπηρετεί στην υλοποίηση της παραγωγή από την έλξη των πελατών και προωθεί μια συνεχή ροή υλικών με διαδικασίες χωρίς απόβλητα, ενώ παράλληλα διατηρεί ένα προκαθορισμένο επίπεδο αποθεμάτων για να διασφαλίζει την αδιάλειπτη προμήθεια υλικών (Valamede et al., 2020). Στην παραδοσιακή ροή εφοδιασμού, οι αλλαγές στις διαδικασίες παραγωγής, τα ρυθμιστικά αποθέματα ή τους χρόνους των κύκλων απαιτούσαν περίπλοκες προσαρμογές στις κάρτες Kanban, γεγονός που περιόριζε την επάρκειά του για μεμονωμένα και προσαρμοσμένα προϊόντα ή προϊόντα με μικρότερους κύκλους ζωής (Kolberg & Zühlke et al., 2015).

Ωστόσο, στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0, είναι διαθέσιμες νέες λύσεις που μπορούν να ενσωματωθούν στα συστήματα Kanban, όπως η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, τα Αυτοματοποιημένα Κατευθυνόμενα Οχήματα και η Εικονική Προσομοίωση, οι οποίες μπορούν να βελτιώσουν περαιτέρω την αποτελεσματικότητα των συστημάτων Kanban. Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να παρέχουν παρακολούθηση της ροής παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, αυτοματοποιημένη εφοδιαστική με έξυπνο έλεγχο αποθεμάτων και μια ευρύτερη και πιο ολοκληρωμένη άποψη της ροής παραγωγής. Για παράδειγμα, τα Αυτοματοποιημένα Κατευθυνόμενα Οχήματα μπορούν να αναπληρώνουν τους σταθμούς εργασίας σύμφωνα με τις πραγματικές και ακριβείς ανάγκες της γραμμής παραγωγής, μειώνοντας τα αποθέματα, τους χρόνους παράδοσης και τις περιττές μετακινήσεις (Valamede et al., 2020). Η Εικονική Προσομοίωση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό νέων έργων Kanban σε πραγματικό χρόνο και τον προσδιορισμό των βέλτιστων παραμέτρων για αυτό το εργαλείο Lean, όπως το μέγεθος της παρτίδας, το απόθεμα και η συχνότητα παράδοσης. Επιπλέον, με την Ανάλυση των Μεγάλων Δεδομένων επιτυγχάνεται η συνεχής παρακολούθηση της ροής εργασιών όσο αυτή βρίσκεται σε εξέλιξη και αυξάνεται η διαφάνεια των κινήσεων των υλικών και των διαδικασιών, επιτρέποντας το συνδυασμό των τιμών στόχων και των πραγματικών τιμών για την απομάκρυνση των περιττών αποθεμάτων. Όλες αυτές οι τεχνολογίες μαζί οδηγούν σε ένα σύστημα e-Kanban που μπορεί να αυξήσει την ανταπόκριση, την ευελιξία και την αποτελεσματικότητα της παραγωγικής διαδικασίας (Kolberg & Zühlke et al., 2015).

**Poka-Yoke 4.0:** Το Poka-Yoke είναι ένα εργαλείο λιτής παραγωγής που προωθεί την ανίχνευση και την εξάλειψη των μη φυσιολογικών συνθηκών στις διαδικασίες παραγωγής για την αποφυγή δημιουργίας ελαττωματικών προϊόντων. Δημιουργεί αναγκαστικές ακολουθίες στις γραμμές παραγωγής και επανεξετάζει τις διαδικασίες κατά την εκτέλεσή τους, σταματώντας τις σε περιπτώσεις σφαλμάτων και θεμάτων που εντοπίζονται (Zhang et al., 2014). Στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0, νέες τεχνολογίες όπως τα αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα, το υπολογιστικό νέφος, η κυβερνοασφάλεια και η Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) μπορούν να ενισχύσουν περαιτέρω την αποτελεσματικότητα των συστημάτων Poka-Yoke (Valamede et al., 2020).

Τα αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα, το υπολογιστικό νέφος, η κυβερνοασφάλεια και οι τεχνολογίες της Επαυξημένης Πραγματικότητας μπορούν να παρέχουν παρακολούθηση της ροής παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, αυτοματοποιημένα συστήματα logistics με έξυπνο έλεγχο αποθεμάτων και μια ευρύτερη και πιο ολοκληρωμένη άποψη της ροής παραγωγής. Τα αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα μπορούν να προσαρμόζονται γρήγορα σε πιθανές αποτυχίες της ροής και να ενημερώνουν το υπολογιστικό νέφος για τα προβλήματα που παρουσιάζονται για μεταγενέστερη ανάλυση και επίλυση. Η αξιοποίηση της Επαυξημένης Πραγματικότητας από τους εργαζόμενους, μπορεί να τους βοηθήσει στις χειρωνακτικές εργασίες τους στην αποφυγή πιθανών ολισθήσεων, καθώς και να παρουσιάζει οδηγίες και εικονικά στοιχεία στις οθόνες τους που να τους διευκολύνουν στην κατανόηση και την εκτέλεση των δραστηριοτήτων. Επιπλέον, τα συστήματα κυβερνοασφάλειας μπορούν να συνεργαστούν παράλληλα με το Poka-Yoke για να διατηρήσουν ένα άψογο περιβάλλον και να βελτιώσουν την ασφάλεια των παραγωγικών λειτουργιών (Valamede et al., 2020).

Επιπλέον, η Επαυξημένη Πραγματικότητα μπορεί να υποστηρίξει τον εργαζόμενο σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια χειροκίνητων εργασιών, βοηθώντας στη μείωση των ανθρώπινων λαθών. Μπορεί να παρουσιάσει διαισθητικές πληροφορίες στις οθόνες του σε συνδυασμό με την ευφυΐα των συνεργατών, ενεργοποιώντας τα ψηφιακά συστήματα του Poka-Yoke για λειτουργίες έντασης της εργασίας. Τα συστήματα αυτά παρέχουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην ολοκλήρωση των χειρωνακτικών εργασιών, γεγονός που ελαχιστοποιεί την εμφάνιση ελαττωμάτων, επανεπεξεργασίας και περιττών ελέγχων, ενώ βελτιώνει την ποιότητα της εργασίας (Romero et al., 2016). Συνολικά, το Poka-Yoke 4.0 μπορεί να προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως ταχύτητα, αξιοπιστία και μειωμένο ποσοστό αποτυχίας, καθιστώντας το ιδιαίτερα χρήσιμο σε εργασίες που απαιτούν τη χρήση hardware.

**Χαρτογράφηση του Ρεύματος Αξίας 4.0:** Η χαρτογράφηση του ρεύματος αξίας (VSM) είναι ένα εργαλείο λιτής παραγωγής που περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες που αποτελούν την αλυσίδα παραγωγής. Αποσκοπεί στον εντοπισμό των διεργασιών μη προστιθέμενης αξίας που θεωρούνται απόβλητα και στην ανάπτυξη λύσεων βελτίωσης για τη διόρθωση αυτών των σημείων συμφόρησης και τη βελτιστοποίηση της ροής παραγωγής (Ellingsen et al., 2017). Στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0, τα έξυπνα εργοστάσια μπορούν να παρέχουν ένα πλήρως ολοκληρωμένο περιβάλλον παραγωγής, όπου τα δεδομένα μπορούν να μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο, ενώ οι αναδυόμενες τεχνολογίες μπορούν να ενισχύσουν περαιτέρω την αποτελεσματικότητα της Χαρτογράφησης του Ρεύματος Αξίας.

Τα έξυπνα εργοστάσια που είναι εξοπλισμένα με τεχνολογίες όπως η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, το υπολογιστικό νέφος και η Εικονική Προσομοίωση (Virtual Simulation) μπορούν να παρέχουν δεδομένα και πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο από ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, βελτιώνοντας τόσο τη διαχείριση της ροής όσο και τον εντοπισμό των σημείων συμφόρησης. Οι τεχνικές της Εικονικής Προσομοίωσης επιτρέπουν τη μελέτη και ερμηνεία πολλαπλών δυνατοτήτων χαρτογράφησης από τους διαχειριστές πριν από την εφαρμογή τους στην πράξη, συμβάλλοντας στην καλύτερη λήψη αποφάσεων (Valamede et al., 2020). Το υπολογιστικό νέφος επιτρέπει επίσης τη σύνδεση των φυσικών πόρων του επιπέδου παραγωγής με τερματικά εποπτείας και ελέγχου, παρέχοντας πληροφορίες που μπορούν να ανακτηθούν από απόσταση για τους ενδιαφερόμενους (Mayr et al., 2018).

Επιπλέον, η Χαρτογράφηση του Ρεύματος Αξίας 4.0 επιτρέπει την προσομοίωση διαφορετικών σεναρίων και αλληλεπιδράσεων μεταξύ των στοιχείων της ροής και επιτρέπει επίσης στις ομάδες να μελετούν την πρακτικότητα κάθε επιλογής χάρτη που αναπτύσσεται, παρέχοντας καλύτερη εκπαίδευση στους εργαζόμενους. Η παραδοσιακή μέθοδος Χαρτογράφησης του Ρεύματος Αξίας δεν χαρτογράφησε και δεν ανέλυσε τη ροή πληροφοριών προς τις μηχανές, τους εργαζόμενους ή τη διοίκηση του εργοστασίου. Η Χαρτογράφηση του Ρεύματος Αξίας 4.0 λύνει αυτό το κενό και φέρνει μια νέα κατεύθυνση των πληροφοριών στις ροές αξίας, αποτελώντας ένα δυναμικό εργαλείο (Valamede et al., 2020).

**Kaizen 4.0:** Το Kaizen είναι ένα εργαλείο λιτής παραγωγής που στοχεύει στην προώθηση της συνεχούς βελτίωσης μέσω της εκπαίδευσης πολυλειτουργικών ομάδων και του σχεδιασμού παραγωγικών δραστηριοτήτων, με στόχο τον εντοπισμό κενών και την ανάπτυξη νέων μεθόδων για την επίλυση πιθανών προβλημάτων (Maarof & Mahmud et al., 2016). Στο πλαίσιο της

Βιομηχανίας 4.0, τεχνολογίες όπως τα Μεγάλα Δεδομένα και η Ανάλυση, το υπολογιστικό νέφος, η Εικονική Προσομοίωση (VS) και η Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) μπορούν να διευκολύνουν την εφαρμογή του Kaizen.

Τα μεγάλα δεδομένα και η ανάλυση, το υπολογιστικό νέφος, η Εικονική Προσομοίωση και η Επαυξημένη Πραγματικότητα μπορούν να διευκολύνουν τη συλλογή και την ανταλλαγή δεδομένων από τις διαδικασίες παραγωγής και τις έξυπνες συσκευές, καθώς και από τους ενδιαφερόμενους φορείς, σε ένα περιβάλλον υπολογιστικού νέφους με ταχύτητα και μεταβλητότητα. Τα δεδομένα αυτά αναλύονται αργότερα από την Ανάλυση των Μεγάλων Δεδομένων, συμβάλλοντας στην επίτευξη αποτελεσμάτων και λύσεων που παρέχουν συνεχή ροή και, κατά συνέπεια, επιβεβαιώνουν τη φιλοσοφία Kaizen. Η σύνδεση της Εικονικής Προσομοίωσης με την Επαυξημένη Πραγματικότητα στενεύει τη σχέση ανθρώπου-μηχανής, ενδυναμώνοντας τους εργαζόμενους με νέες γνώσεις σχετικά με τις διαδικασίες παραγωγής, καθιστώντας τους πιο κριτικούς και ικανούς να βρίσκουν πιθανά ζητήματα προς επίλυση στη γραμμή παραγωγής (Valamede et al., 2020).

Επιπλέον, η Εικονική Προσομοίωση περιλαμβάνει βιομηχανικές εφαρμογές όπως η συναρμολόγηση, η προσομοίωση, η αξιολόγηση και η οπτικοποίηση σχεδίων προϊόντων και η εκπαίδευση εργαζομένων. Η μεταβλητότητα αυτών των δραστηριοτήτων ξεχωρίζει ως μια τεχνολογία με τη δυνατότητα να βελτιώσει σημαντικά τις συμβατικές διαδικασίες συνεχούς βελτίωσης (Valamede et al., 2020). Οι ανεπιθύμητες διακοπές στη γραμμή παραγωγής μπορούν να μειωθούν και οι ιδέες βελτίωσης μπορούν να δοκιμαστούν πριν από την πραγματική φυσική εφαρμογή τους. Αυτή η καινοτομία 4.0, σε συνδυασμό με την Επαυξημένη Πραγματικότητα, επιτρέπει τη βιομηχανική αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής μέσω της ανταλλαγής πληροφοριών, η οποία ενισχύει την απόκτηση νέων γνώσεων και δεξιοτήτων από τους εργαζόμενους (Wagner et al., 2017). Συνολικά, το Kaizen 4.0 μπορεί να αποφέρει σημαντικά οφέλη όσον αφορά την ταχύτητα, την αξιοπιστία και τη βελτίωση της ποιότητας, καθιστώντας το ένα πολύτιμο εργαλείο (Valamede et al., 2020).

**Ολική Παραγωγική Συντήρηση 4.0:** Η Ολική Παραγωγική Συντήρηση (TPM) 4.0 είναι μια φιλοσοφία που στοχεύει στη βελτιστοποίηση της παραγωγικότητας και την εξάλειψη των ελαττωμάτων με τη συμμετοχή όλων των εργαζομένων στη συντήρηση του εξοπλισμού και των μηχανημάτων. Στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0, οι νέες τεχνολογίες μπορούν να συμβάλουν στην Ολική Παραγωγική Συντήρηση παρέχοντας παρακολούθηση του εξοπλισμού σε πραγματικό χρόνο και προβλέποντας πιθανές βλάβες.

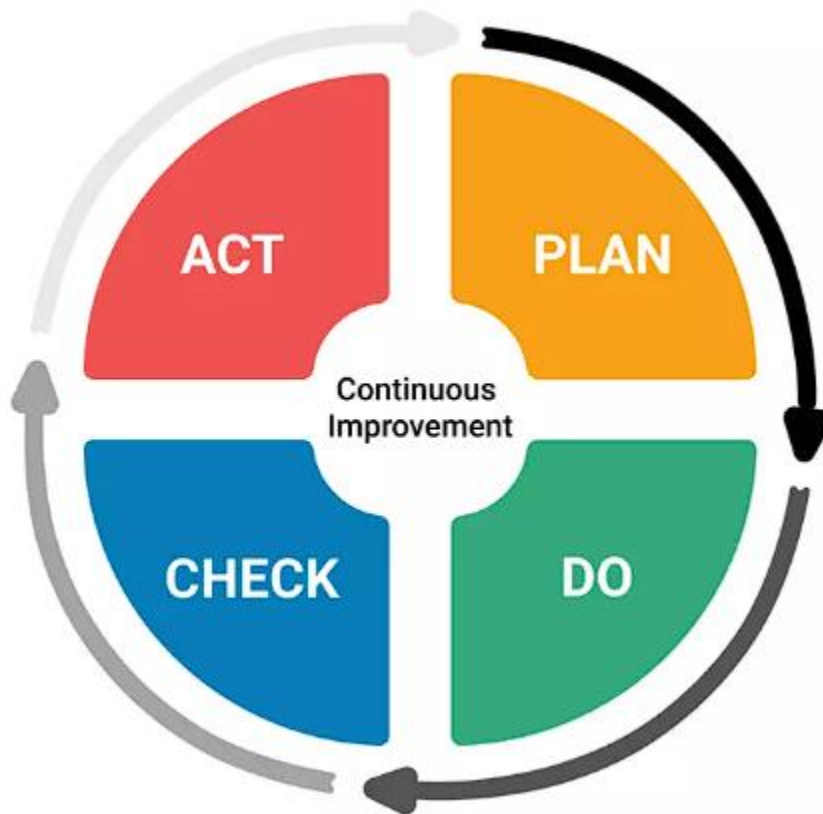
Συλλέγοντας και αναλύοντας δεδομένα από αισθητήρες, ενεργοποιητές και άλλες συσκευές στη γραμμή παραγωγής, η Ολική Παραγωγική Συντήρηση 4.0 μπορεί να ανιχνεύσει και να απομονώσει γρήγορα τις βλάβες των μηχανημάτων, μειώνοντας τον χρόνο παράδοσης και αποτρέποντας τις επακόλουθες ζημιές. Η προγνωστική ανάλυση που βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη βλαβών και την παράταση της προσδοκώμενης διάρκειας ζωής του εξοπλισμού (Sanders et al., 2016, Mayr et al., 2018). Η χρήση της Επαυξημένης Πραγματικότητας και της Εικονικής Προσομοίωσης μπορεί επίσης να βοηθήσει τους εργαζόμενους να εκτελούν εργασίες συντήρησης αποτελεσματικά και με τη σωστή συχνότητα (Valamede et al., 2020). Επιπλέον, η τεχνολογία της Προσθετικής Κατασκευής μπορεί

να επεκτείνει τον έλεγχο και τις υπηρεσίες πέρα από την κατασκευή, όπως η συναρμολόγηση, η παράδοση, η βελτίωση των προϊόντων και η συντήρηση αυτών (Singh et al., 2013, Mayr et al., 2018).

Όλα τα παραπάνω είναι εργαλεία τα οποία επικεντρώνονται στη βελτίωση της αποδοτικότητας, τη μείωση της σπατάλης και τη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας σε περιβάλλοντα κατασκευής και παραγωγής. Οι επιχειρήσεις που απασχολούνται σε αυτά τα περιβάλλοντα, οφείλουν να εξοικειωθούν με αυτά τα εξελιγμένα πλέον εργαλεία και να τα αξιοποιήσουν στην πορεία τους προς την ψηφιοποίηση και την Ποιότητα 4.0, αξιοποιώντας τις νέες τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 στις παραδοσιακές μεθοδολογίες και φιλοσοφίες της Διαχείρισης Ποιότητας.

## 5.5 Ο κύκλος Plan-Do-Check-Act στη Βιομηχανία 4.0

Ο κύκλος PDCA (Σχεδιάζω - κάνω - ελέγγω – ενεργώ), ο οποίος απεικονίζεται στην Εικόνα 8, είναι ένα μοντέλο τεσσάρων βημάτων για την υλοποίηση της αλλαγής. Όπως ένας κύκλος δεν έχει τέλος, έτσι και ο κύκλος PDCA πρέπει να επαναλαμβάνεται ξανά και ξανά για συνεχή βελτίωση. Ο κύκλος PDCA θεωρείται εργαλείο σχεδιασμού έργων (American Society of Quality). Οι Dutta, Kumar, Sindhvani & Singh (et al., 2021), μελέτησαν τον κύκλο Plan-Do-Check-Act και τις επιρροές που υπέστησαν οι διαδικασίες των τεσσάρων σταδίων του κύκλου PDCA από τον ψηφιακό μετασχηματισμό και την Βιομηχανία 4.0. Παρακάτω, αναφέρονται τα τέσσερα αυτά στάδια και οι επιρροές στις εκάστοτε διαδικασίες.



Εικόνα 8. Ο κύκλος Plan-Do-Check-Act.

**Στάδιο PLAN:** Το στάδιο του Σχεδιασμού (Plan) του κύκλου PDCA είναι κρίσιμο για τον σχεδιασμό και τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων. Στο παρελθόν, η διαχείριση του Προχωρημένου Σχεδιασμού Ποιότητας Προϊόντων (APQP) γινόταν με τη χρήση αυτόνομων εργαλείων διαχείρισης έργων (Chhim et al., 2019). Ωστόσο, η άνοδος της Βιομηχανίας 4.0 και της ψηφιοποίησης οδήγησε στην ενσωμάτωση του Προχωρημένου Σχεδιασμού Ποιότητας Προϊόντων με τα πλαίσια διαχείρισης του κύκλου ζωής του προϊόντος (PLM). Η ενσωμάτωση αυτή επιτρέπει



τον προγραμματισμό και την παρακολούθηση των εργασιών του έργου με χρονοδιαγράμματα και ιδιοκτησίες. Επιπλέον, συλλέγονται δεδομένα ποιότητας σε πραγματικό χρόνο μέσω της ανατροφοδότησης κλειστού βρόχου που βασίζεται στο Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IIoT), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω ανάλυση και έργα συνεχούς βελτίωσης (Cugini et al., 2006). Αυτό το βελτιωμένο ψηφιακό πλαίσιο οδηγεί σε ταχύτερες λύσεις και μετριάζει τους κινδύνους ποιότητας μέσω πειραμάτων προσομοίωσης και επικύρωσης (Dutta, Kumar, Sindhvani & Singh et al., 2021).

Το στάδιο PLAN έχει επίσης βελτιωθεί μέσω της ενσωμάτωσης ψηφιακών εργαλείων προσομοίωσης και σχεδιασμού, όπως ο σχεδιασμός με την βοήθεια υπολογιστή (Computer-Aided Design) και η μηχανική με τη βοήθεια υπολογιστή (Computer-Aided Engineering). Τα εργαλεία αυτά υποστηρίζουν την ανάλυση λειτουργίας και επιπτώσεων αστοχίας σχεδιασμού και διεργασίας (D-FMEA & P-FMEA) μέσω της προσομοίωσης και επικύρωσης της μεταβλητότητας του προϊόντος σε σχέση με τις προδιαγραφές. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στα μέλη της ομάδας της ανάλυσης λειτουργίας και επιπτώσεων αστοχίας να αποκτήσουν βαθύτερη κατανόηση των πιθανών αστοχιών, οδηγώντας σε ακριβέστερο εντοπισμό της αστάθειας στις διαδικασίες (Xu et al., 2020). Συνολικά, η ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών στο στάδιο PLAN οδηγεί σε βελτιωμένη διαχείριση του έργου και αυξημένη αποτελεσματικότητα στον προγραμματισμό και τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων (Dutta, Kumar, Sindhvani & Singh et al., 2021).

**Στάδιο DO:** Το στάδιο DO του κύκλου PDCA επικεντρώνεται στην εκτέλεση ενός σχεδίου δράσης για τη διασφάλιση της συνεχούς παραγωγής ποιοτικών προϊόντων. Στο παρελθόν, αυτό το στάδιο συχνά διαχειριζόταν μέσω αυτόνομων διαδικασιών που βασίζονταν σε λογιστικά φύλλα και χειροκίνητο χειρισμό δεδομένων. Ωστόσο, η άνοδος της Βιομηχανίας 4.0 και της ψηφιοποίησης έχει οδηγήσει σε αυξημένη ολοκλήρωση και αυτοματοποίηση στο στάδιο DO. Οι ψηφιακές συσκευές και οι εφαρμογές υπολογιστικού νέφους, όπως το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων και ο κύκλος ζωής του προϊόντος, χρησιμοποιούνται πλέον για την ανταλλαγή δεδομένων και τη βελτίωση των διαδικασιών παραγωγής. Αυτός ο αυξημένος όγκος και η ταχύτητα των δεδομένων επιτρέπει περισσότερες ευκαιρίες βελτίωσης, αλλά αυξάνει επίσης το ενδεχόμενο ανισοτήτων.

Επιπλέον, η ψηφιοποίηση έχει επίσης βελτιώσει τη διαδικασία ελέγχου επιθεώρησης αγαθών (Incoming Goods Control) στο στάδιο DO. Ο τρισδιάστατος σχεδιασμός επιθεώρησης και τα δεδομένα πληροφοριών για τα προϊόντα και την παραγωγή (Product and Manufacturing Information) μπορούν πλέον να συλλεχθούν άμεσα και ψηφιακά, μειώνοντας τα ελαττώματα μέσω της πιο αξιόπιστης μετάδοσης δεδομένων (Fang et al., 2016). Ο αυτοματοποιημένος εξοπλισμός επιθεώρησης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την άμεση μεταφόρτωση των δεδομένων αυτών για ποικίλες παραλλαγές εξαρτημάτων, κάτι που είναι απαραίτητο για τη μαζική προσαρμογή. Η ψηφιοποίηση των πληροφοριών για τα προϊόντα και την παραγωγή επιτρέπει επίσης αξιολογήσεις σε πραγματικό χρόνο, απεικονίσεις της κατάστασης και ενσωμάτωση με τις αξιολογήσεις των προμηθευτών. Αυτό οδηγεί σε ψηφιακές διαδικασίες ποιότητας χωρίς χαρτί, με την ενοποίηση των δεδομένων να παρέχει μια ενιαία πηγή αλήθειας (Cho et al., 2005). Αυτό το βελτιωμένο ψηφιακό πλαίσιο οδηγεί σε μεγαλύτερη παραγωγικότητα, ανύψωση του ηθικού και

μείωση της σπατάλης, διασφαλίζοντας παράλληλα την παραγωγή εντός του βασικού χρονοδιαγράμματος (Dutta, Kumar, Sindhwani & Singh et al., 2021).

**Στάδιο CHECK:** Το στάδιο CHECK του κύκλου PDCA επικεντρώνεται στην εκτέλεση δοκιμών, την ανάλυση δεδομένων και την ανάπτυξη βασικών ορίων για τον εντοπισμό και την επαλήθευση βελτιώσεων. Στο παρελθόν, αυτό το στάδιο διαχειριζόταν συχνά μέσω μη ψηφιακών διαδικασιών ποιότητας, οι οποίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν αναντιστοιχία με την ψηφιακή ολοκλήρωση από επιχειρησιακά συστήματα όπως η διαχείριση του κύκλου ζωής του προϊόντος (PLM) και ο Προγραμματισμός των Επιχειρησιακών Πόρων (ERP). Ωστόσο, με την άνοδο του Industry 4.0 και της ψηφιοποίησης, το στάδιο CHECK έχει γνωρίσει σημαντικές βελτιώσεις.

Μία από τις βασικές βελτιώσεις είναι η ψηφιοποίηση του στατιστικού ελέγχου διεργασιών (SPC), η οποία επιτρέπει την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και την ανίχνευση αποκλίσεων και των βαθύτερων αιτιών. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ψηφιοποιημένων εκθέσεων ελέγχου και διαγραμμάτων στατιστικού ελέγχου διεργασιών, τα οποία μπορούν να δημιουργηθούν για δυναμικές παραγωγές παρτίδων ακόμη και με μικρά μεγέθη δειγματοληψίας (Doshi & Desai et al., 2016). Αυτά τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο επιτρέπουν την έκδοση online προειδοποιήσεων και τεκμηρίωσης σε περίπτωση μη συμμόρφωσης. Επιπλέον, το στάδιο CHECK επωφελείται επίσης από την ενσωμάτωση ψηφιακών εργαλείων, όπως η διαδικτυακή απεικόνιση των μετρήσεων και των στατιστικών KPI, καθώς και η διαδικτυακή πρόσβαση στο Εγχειρίδιο Διασφάλισης Ποιότητας (QAM), το οποίο παρέχει πρότυπα και κριτήρια. Αυτό συμβάλλει στη μείωση του χρόνου απόκρισης για τον στατιστικό έλεγχο των διεργασιών και στον εντοπισμό και την πρόληψη των προβλημάτων, οδηγώντας σε λιγότερη επανεπεξεργασία και μειωμένη σπατάλη (Dutta, Kumar, Sindhwani & Singh et al., 2021).

**Στάδιο ACT:** Το στάδιο ACT του κύκλου PDCA επικεντρώνεται στην ευρύτερη εφαρμογή και τυποποίηση των βελτιώσεων που εντοπίστηκαν στα προηγούμενα στάδια. Στο παρελθόν, αυτό το στάδιο διαχειριζόταν συχνά μέσω διαδικασιών σε χαρτί, οι οποίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν ανισότητες λόγω έλλειψης συντονισμού μεταξύ των ψηφιοποιημένων διαδικασιών παραγωγής (Stevens et al., 2018). Ωστόσο, με την εμφάνιση της Βιομηχανίας 4.0 και της ψηφιοποίησης, το στάδιο ACT έχει δει σημαντικές βελτιώσεις σε τομείς όπως η ολοκλήρωση των προμηθευτών, η διαχείριση των εγγυήσεων, η διαχείριση της επικοινωνίας με τον πελάτη (Customer Control Management) και οι έλεγχοι (Dutta, Kumar, Sindhwani & Singh et al., 2021).

Μία από τις βασικές βελτιώσεις στο στάδιο ACT είναι η ψηφιοποίηση της διαχείρισης της επικοινωνίας με τον πελάτη, η οποία συμβάλλει στην έναρξη διαδικασιών επίλυσης προβλημάτων για τον μετριασμό των αποκλίσεων και τη βελτίωση της ικανοποίησης του πελάτη. Η ψηφιοποιημένη διαχείριση της επικοινωνίας με τον πελάτη ενσωματώνεται με τον έλεγχο εισερχομένων εμπορευμάτων (IGC) για την παρακολούθηση παραπόνων που σχετίζονται με τον προμηθευτή, με τον στατιστικό έλεγχο διαδικασιών (SPC) για την εξαγωγή προγνωστικών απόψεων και με την ανάλυση του τρόπου αποτυχίας και των επιπτώσεων (FMEA) για τον προσδιορισμό των βαθύτερων αιτιών και την επικύρωση των λύσεων. Αυτό το ολιστικό ψηφιοποιημένο περιβάλλον ποιότητας παρέχει μια ολοκληρωμένη άποψη με πρόσβαση σε πληροφορίες αναφοράς και ιστορική γνώση για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων σε κάθε στάδιο. Επιπλέον, οι εκθέσεις, οι ειδοποιήσεις και οι κλιμακώσεις που βασίζονται στο σύστημα

παρέχουν διαφάνεια και βοηθούν στη διαχείριση προθεσμιών και χρονοδιαγραμμάτων, μεταβαίνοντας από έναν αντιδραστικό τρόπο διαχείρισης παραπόνων σε μια πιο συνεργατική και ολιστική προσέγγιση για τη βελτίωση της ποιότητας (Dutta, Kumar, Sindhwani & Singh et al., 2021).

Παρατηρούμε ότι, ο παραδοσιακός κύκλος PDCA του Deming και οι διαδικασίες των σταδίων του βρίσκουν πολλές εφαρμογές από τα εργαλεία και τις νέες τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0. Με τον κατάλληλο τρόπο και την απαραίτητη γνώση για την επίτευξη της σωστής εφαρμογής τους, οι οργανισμοί έχουν την δυνατότητα να εξελίξουν την έννοια της συνεχούς βελτίωσης και να της δώσουν νέες διαστάσεις.

## Συμπεράσματα

Τα εργαλεία και οι τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 έχουν επηρεάσει αρκετά τις παραδοσιακές μεθοδολογίες της Διαχείρισης Ποιότητας, τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζονται οι διαδικασίες, τις ίδιες τις διαδικασίες, την παραγωγικότητα, την αποτελεσματικότητα, την ασφάλεια και τη νοοτροπία των οργανισμών γενικότερα. Η προσφορά των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 στις σύγχρονες επιχειρήσεις είναι σημαντική και οι δυνατότητες τους αναρίθμητες.

Παρόλα αυτά, η επιτυχία της ενσωμάτωσης των νέων τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 (τα μεγάλα δεδομένα, η τεχνολογία blockchain, η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική μάθηση κ.α.) σε ένα κατασκευαστικό ή παραγωγικό περιβάλλον εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον ανθρώπινο παράγοντα. Αυτός περιλαμβάνει την προθυμία, την ικανότητα αλλά και την συναίνεση ολόκληρου του ανθρώπινου δυναμικού στην αλυσίδα αξίας μιας επιχείρησης, συμπεριλαμβανομένης και μη εξειδίκευσης της ηγεσίας μαζί με τους εργαζόμενους, να προσαρμοστούν στη νέα τεχνολογία, καθώς επίσης περιλαμβάνει και το επίπεδο εκπαίδευσης και κατανόησης του τρόπου αποτελεσματικής χρήσης της. Η έλλειψη κατάλληλης εκπαίδευσης μπορεί να οδηγήσει σε σύγχυση και απογοήτευση των εργαζομένων αλλά και της διοίκησης, εμποδίζοντας τελικά την επιτυχία της ενσωμάτωσης της τεχνολογίας. Επιπλέον, εάν οι εργαζόμενοι είναι ανθεκτικοί στην αλλαγή και απρόθυμοι να χρησιμοποιήσουν τη νέα τεχνολογία, αυτό θα επηρεάσει επίσης αρνητικά την επιτυχία της.

Από την άλλη πλευρά, εάν οι εργαζόμενοι είναι κατάλληλα εκπαιδευμένοι και έχουν κίνητρα να χρησιμοποιούν τη νέα τεχνολογία, μπορούν να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στον εντοπισμό τομέων για βελτίωση και βελτιστοποίηση. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη αποδοτικότητα, μειωμένο χρόνο διακοπής λειτουργίας και βελτιωμένη συνολική ποιότητα. Επιπλέον, ο ανθρώπινος παράγοντας είναι επίσης σημαντικός στο σχεδιασμό και την εφαρμογή των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0. Είναι σημαντικό να συμμετέχουν οι εργαζόμενοι στη διαδικασία, ώστε να διασφαλιστεί ότι η τεχνολογία ευθυγραμμίζεται με τις ανάγκες της εταιρείας και ότι είναι φιλική προς τον χρήστη. Με αυτόν τον τρόπο, θα επιτευχθεί διαφάνεια και βελτίωση της επικοινωνίας, μειωμένη σπατάλη και μείωση του αριθμού των λαθών, βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων, της αξιοπιστίας και της ευελιξία στον προγραμματισμό και την εκτέλεση, βελτίωση της προσαρμογής και της εμπειρίας του πελάτη και ασφαλέστερες συνθήκες εργασίας. Όλα τα παραπάνω μπορούν να συνεισφέρουν σε έναν οργανισμό στην υλοποίηση και εφαρμογή της Ποιότητας 4.0 και την επίτευξη επιχειρηματικής τελειότητας στην αναπάντεχη και συνέχεια εξελισσόμενη εποχή της Βιομηχανίας 4.0.

## Περιορισμοί και Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση περιορίστηκε σε ένα σύνολο κριτηρίων. Ξεκινώντας, ένας αρχικός περιορισμός αφορά την γλώσσα δημοσίευσης, με αποτέλεσμα τα άρθρα που δεν ήταν στα Αγγλικά να απορριφθούν. Ακόμη, η ανασκόπηση περιελάμβανε μόνο άρθρα που ήταν διαθέσιμα σε πλήρες κείμενο επομένως οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν ίσως να είναι περιορισμένες. Η αδυναμία αυτή έχει ως συνέπεια την απόρριψη σχετικών άρθρων με το θέμα της παρούσας μελέτης, τα οποία θα συνέβαλαν στην περαιτέρω ανάλυση του θέματος. Τέλος, ένας ακόμη περιορισμός της παρούσας εργασίας, ήταν η έλλειψη πληθώρας άρθρων όσον αφορά το μοντέλο επιχειρηματικής αριστείας EFQM και την επίδραση της Βιομηχανίας 4.0 σε αυτό. Βρέθηκαν μόνο 2 άρθρα τα οποία αναφερόντουσαν σε αυτό το ζήτημα, όμως οι αναφορές τους ήταν αρκετά γενικές και αόριστες και για αυτόν τον λόγο το μοντέλο και η επίδραση της Βιομηχανίας 4.0 σε αυτό δεν συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα εργασία.

Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την πλήρη κατανόηση του αντίκτυπου της Βιομηχανίας 4.0 στη διαχείριση της ποιότητας και την επιχειρηματική αριστεία. Αυτό μπορεί να γίνει με τη διερεύνηση της εφαρμογής των τεχνολογιών Βιομηχανία 4.0 σε διάφορους κλάδους και των επιπτώσεών τους σε βασικές μετρήσεις της διαχείρισης ποιότητας, όπως η ικανοποίηση των πελατών, η αποτελεσματικότητα των διαδικασιών και η δέσμευση των εργαζομένων. Επιπλέον, θα ήταν πολύτιμο να μελετηθεί ο μακροπρόθεσμος αντίκτυπος της Βιομηχανίας 4.0 στην οργανωτική κουλτούρα και η επίδρασή της στην υιοθέτηση πρακτικών συνεχούς βελτίωσης. Ένας άλλος τομέας για μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να είναι η εξέταση του ρόλου της ανάλυσης δεδομένων στην προώθηση της διαχείρισης της ποιότητας και της επιχειρηματικής αριστείας στη Βιομηχανία 4.0. Οι μελέτες αυτές θα παρείχαν μια ολοκληρωμένη κατανόηση των πλεονεκτημάτων και των προκλήσεων της Βιομηχανίας 4.0 και των επιπτώσεών της στη διαχείριση της ποιότητας και την επιχειρηματική αριστεία.

## Βιβλιογραφία

- [1] Αθανασίου Ι. Ευτυχία (2021). Στρατηγικό Μάνατζμεντ και Ποιότητα 4.0: Η εναρμόνιση της μεθοδολογίας Lean Six Sigma και των τεχνολογιών του Industry 4.0 για την επίτευξη ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος.
- [2] Τσιότρας Δ. Γεώργιος (2016). Διοίκηση Ολικής Ποιότητας, *Broken Hill Publishers*.
- [3] Ammar, M., Haleem, A., Javaid, M., Walia, R. and Bahl, S. (2021). Improving material quality management and manufacturing organizations system through Industry 4.0 technologies. *Materials Today: Proceedings*, 45(2214-7853), pp.5089–5096. doi:10.1016/j.matpr.2021.01.585.
- [4] Antony, J., McDermott, O. and Sony, M. (2021). Quality 4.0 conceptualisation and theoretical understanding: a global exploratory qualitative study. *The TQM Journal*, 34(5), pp.1169–1188. doi:10.1108/tqm-07-2021-0215.
- [5] Antony, J., McDermott, O., Sony, M., Toner, A., Bhat, S., Cudney, E.A. and Doulatbadi, M. (2022). Benefits, challenges, critical success factors and motivations of Quality 4.0 – A qualitative global study. *Total Quality Management & Business Excellence*, pp.1–20. doi:10.1080/14783363.2022.2113737.
- [6] Antony, J., Sony, M., McDermott, O., Jayaraman, R. and Flynn, D. (2021). An exploration of organizational readiness factors for Quality 4.0: an intercontinental study and future research directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(0265-671X). doi:10.1108/ijqrm-10-2021-0357.
- [7] Asif, M. (2020). Are QM models aligned with Industry 4.0? A perspective on current practices. *Journal of Cleaner Production*, 258, p.120820. doi:10.1016/j.jclepro.2020.120820.
- [8] BCG (2019). *Quality 4.0 Takes More Than Technology*.
- [9] Broday, E.E. (2022). The evolution of quality: from inspection to quality 4.0. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 14(3), pp.368–382. doi:10.1108/ijqss-09-2021-0121.
- [10] Carvalho, A.M., Sampaio, P., Rebentisch, E. and Saraiva, P. (2019). 35 years of excellence, and perspectives ahead for excellence 4.0. *Total Quality Management & Business Excellence*,

32(11-12), pp.1215–1248. doi:10.1080/14783363.2019.1691915.

[11] Carvalho, A.V., Enrique, D.V., Chouchene, A. and Charrua-Santos, F. (2021). Quality 4.0: An Overview. *Procedia Computer Science*, 181, pp.341–346. doi:10.1016/j.procs.2021.01.176.

[12] Chiarini, A. (2020). Industry 4.0, quality management and TQM world. A systematic literature review and a proposed agenda for further research. *The TQM Journal*, 32(4), pp.603–616. doi:10.1108/tqm-04-2020-0082.

[13] Chiarini, A. and Kumar, M. (2021). What is Quality 4.0? An exploratory sequential mixed methods study of Italian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 60(16), pp.4890–4910. doi:10.1080/00207543.2021.1942285.

[14] Cook, D. and Zhang, W. (2019). The Baldrige Award's falling fortunes. *Benchmarking: An International Journal*, 26(6), pp.1972–1994. doi:10.1108/bij-04-2018-0096.

[15] Dutta, G., Kumar, R., Sindhvani, R. and Singh, R.Kr. (2021). Digitalization priorities of quality control processes for SMEs: a conceptual study in perspective of Industry 4.0 adoption. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(6), pp.1679–1698. doi:10.1007/s10845-021-01783-2.

[16] Escobar, C.A., McGovern, M.E. and Morales-Menendez, R. (2021). Quality 4.0: a review of big data challenges in manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(8), pp.2319–2334. doi:10.1007/s10845-021-01765-4.

[17] Foidl, H. and Felderer, M. (2016). Research Challenges of Industry 4.0 for Quality Management Science of Security for Agile Software Development View project Data Science Process Model (DASC-PM) View project Research Challenges of Industry 4.0 for Quality Management. doi:10.1007/978-3-319-32799-0\_10.

[18] Fonseca, L., Amaral, A. and Oliveira, J. (2021). Quality 4.0: The EFQM 2020 Model and Industry 4.0 Relationships and Implications. *Sustainability*, 13(6), p.3107. doi:10.3390/su13063107.

[19] Glogovac, M., Ruso, J., Arsić, S., Rakić, A. and Milošević, I. (2022). Leadership for Quality 4.0 Improvement, Learning, and Innovation. *Engineering Management Journal*, 00(00), pp.1–17.

doi:10.1080/10429247.2022.2108668.

[20] Gunasekaran, A., Subramanian, N. and Ngai, W.T.E. (2019). Quality management in the 21st century enterprises: Research pathway towards Industry 4.0. *International Journal of Production Economics*, 207, pp.125–129. doi:10.1016/j.ijpe.2018.09.005.

[21] Husti, I. and Daróczy, M. (2017). TOTAL QUALITY MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0.

[22] Javaid, M., Haleem, A., Pratap Singh, R. and Suman, R. (2021). Significance of Quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturing sector. *Sensors International*, 2, p.100109. doi:10.1016/j.sintl.2021.100109.

[23] Machado C. Marcio (2020). Transition to Quality 4.0, *Quality and Operational Research Newsletter*, 1(2), pp. 2-6.

[24] Maganga, D.P. and Taifa, I.W.R. (2022a). Quality 4.0 conceptualisation: an emerging quality management concept for manufacturing industries. *The TQM Journal*, 35(2), pp.389–413. doi:10.1108/tqm-11-2021-0328.

[25] Maganga, D.P. and Taifa, I.W.R. (2022b). Quality 4.0 transition framework for Tanzanian manufacturing industries. *The TQM Journal*, 35(1). doi:10.1108/tqm-01-2022-0036.

[26] Magd, H., Negi, S. and Ansari, M.S.A. (2021). Effective TQM Implementation in the Service Industry: A Proposed Framework. *Quality Innovation Prosperity*, 25(2), pp.95–129. doi:10.12776/qip.v25i2.1594.

[27] Mohamed, M. (2018). Challenges and Benefits of Industry 4.0: An overview. *International Journal of Supply and Operations Management*, 5(3), pp.256–265.

[28] Nenadál, J. (2020). The New EFQM Model: What is Really New and Could Be Considered as a Suitable Tool with Respect to Quality 4.0 Concept? *Quality Innovation Prosperity*, 24(1), p.17. doi:10.12776/qip.v24i1.1415.

[29] Nguyen, T.A.V., Tucek, D. and Pham, N.T. (2022). Indicators for TQM 4.0 model: Delphi Method and Analytic Hierarchy Process (AHP) analysis. *Total Quality Management & Business*



*Excellence*, pp.1–15. doi:10.1080/14783363.2022.2039062.

[30] Oztemel, E. and Gursev, S. (2018). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), pp.127–182. doi:10.1007/s10845-018-1433-8.

[31] Paraschivescu, A. (2021). Quality 4.0. *Economy Transdisciplinarity Cognition; Bacau*, 31(2), pp. 5-17.

[32] Peças P, Encarnação J, Gambôa M, Sampayo M, Jorge D. PDCA 4.0: A New Conceptual Approach for Continuous Improvement in the Industry 4.0 Paradigm. *Applied Sciences*. 2021; 11(16):7671. <https://doi.org/10.3390/app11167671>

[33] Rifqi, H., Zamma, A., Ben Souda, S. and Hansali, M. (2021). Positive Effect of Industry 4.0 on Quality and Operations Management. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 17(09), p.133. doi:10.3991/ijoe.v17i09.24717.

[34] Rowlands, H. and Milligan, S. (2021). Quality-driven Industry 4.0. *Key Challenges and Opportunities for Quality, Sustainability and Innovation in the Fourth Industrial Revolution*, pp.3–30. doi:10.1142/9789811230356\_0001.

[35] Sader, S., Husti, I. and Daroczi, M. (2021). A review of quality 4.0: definitions, features, technologies, applications, and challenges. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(9-10), pp.1164–1182. doi:10.1080/14783363.2021.1944082.

[36] Saihi, A., Awad, M. and Ben-Daya, M. (2021). Quality 4.0: leveraging Industry 4.0 technologies to improve quality management practices – a systematic review. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(2), pp.628–650. doi:10.1108/ijqrm-09-2021-0305.

[37] Sisodia, R. and Villegas Forero, D. (2020). *DEPARTMENT OF TECHNOLOGY MANAGEMENT AND ECONOMICS DIVISION OF SERVICE MANAGEMENT AND LOGISTICS Quality 4.0 -How to Handle Quality in the Industry 4.0 Revolution Master's thesis in Quality and Operations Management RAOUL SISODIA DANIEL VILLEGAS FORERO.*

[38] Sony, M., Antony, J. and Douglas, J. (2020). Essential ingredients for the implementation of

Quality 4.0: A narrative review of literature and future directions for research Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0 A narrative review of literature and future directions for research. *TQM Journal*, 32(4). doi:10.1108/TQM-12-2019-0275.

[39] Sony, M., Antony, J., Douglas, J.A. and McDermott, O. (2021). Motivations, barriers and readiness factors for Quality 4.0 implementation: an exploratory study. *The TQM Journal*, 33(6), pp.1502–1515. doi:10.1108/tqm-11-2020-0272.

[40] Souza, F.F. de, Corsi, A., Pagani, R.N., Balbinotti, G. and Kovaleski, J.L. (2021). Total quality management 4.0: adapting quality management to Industry 4.0. *The TQM Journal*, 34(4), pp.749–769. doi:10.1108/tqm-10-2020-0238.

[41] Thi Anh Van Nguyen, David Tuček and Khac-Hieu Nguyen, DO QUALITY MANAGEMENT SYSTEM STANDARDS AFFECT FIRM INNOVATION? RESULTS FROM AN EMPIRICAL RESEARCH, in *DOKBAT 2021 - 17th Annual International Bata Conference for Ph.D. Students and Young Researchers* (Vol. 17). Zlín: Tomas Bata University in Zlín, Faculty of Management and Economics. Retrieved from <http://dokbat.utb.cz/conference-proceedings/> ISBN: 978-80-7678-025-5

[42] Thi Anh Van Nguyen, David Tuček, Thi Thu Huong Nguyen (2022). *TOTAL QUALITY MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0: A THEORETICAL FRAMEWORK*, in *International Doctoral Seminar 2022*.

[43] Watson, G.H. (2019). *THE ASCENT OF QUALITY 4.0*.

[44] Zaidin, N.H.M., Diah, M.N.M. and Sorooshian, S. (2018). Quality management in industry 4.0 era. *Journal of Management and Science*, 8(2), pp.182–191. doi:10.26524/jms.2018.17.